

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroenergetiky

Návrh energetické koncepce bytového komplexu s napájením  
z obnovitelných zdrojů

Design of Household Electric Power Conception with Supply  
from Renewables

2016

Bc. Martin Kříž

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Martin Kříž**

Studijní program: N2649 Elektrotechnika

Studijní obor: 3907T001 Elektroenergetika

Téma: Návrh energetické koncepce bytového komplexu s napájením z obnovitelných zdrojů  
Design of Household Electric Power Conception with Supply from Renewables

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Analýza toku výkonu v typizovaném objektu
2. Analýza proudových profilů vybraných spotřebičů
3. Návrh energetické koncepce
4. Výpočet předpokládaného ekonomického přínosu navrženého řešení
5. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Cenek, M. a kol.: Obnovitelné zdroje energie, 2. upr. a dopln. vydání, Praha, FCC Public 2001, ISBN 80-901985-8-9
- [2] Štekl, J.: Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice, Praha 2003
- [3] Mastný, P., Mišák, S., Drápela, J.: Obnovitelné zdroje energie, mČVUT, 2011, ISBN 978-80-01-04937-2
- [4] Murtinger, K., Beranovský, J., Tomeš, M.: Fotovoltaika -- 2. vydání, ISBN: 978-80-7366-133-5, Era
- [5] KAMINSKÝ, J.; VRTEK, M. Obnovitelné a alternativní zdroje energie. Ostrava, 2002
- [6] ČSN EN 50160

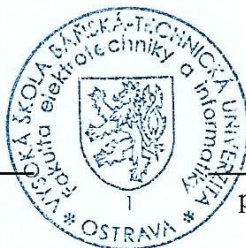
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Stanislav Mišák, Ph.D.**

Datum zadání: 01.09.2015

Datum odevzdání: 29.04.2016

  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry



  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

### **Prohlášení studenta o autorství:**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 29. 4. 2016



podpis studenta

### **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval panu doc. Ing. Stanislavu Mišákovi, Ph.D. za jeho cenné rady a připomínky při psaní této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval Městu Klimkovice a Daniele Bláhové za umožnění zpracování statistiky provozu elektromobilu a Ing. Zdeňku Slaninovi, Ph.D. za umožnění přístupu k nabíjecí stanici elektromobilů na VŠB-TU Ostrava.

Tato práce vznikla díky podpoře výzkumné infrastruktury Centra ENET.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá praktickou ukázkou postupu při návrhu systému napájení z obnovitelných zdrojů pro bytový komplex. Práce v počátku analyzuje naměřené údaje o spotřebě elektrické energie v domácnosti, skládá celkový roční profil spotřeby elektrické energie a obsahuje posouzení možnosti úspor. Následující část zkoumá odběrové profily vybraných spotřebičů a definuje kategorie pro systém řízení spotřeby. Práce dále porovnává dvě varianty návrhu fotovoltaické elektrárny, který probíhá pomocí webové aplikace PVGIS. V části návrhu hybridního systému napájení jsou také podrobněji analyzovány aspekty návrhu akumulčního zařízení. Pozornost je věnována možnosti využití technologie Vehicle-To-Home při zapojení elektromobilu do domovního systému napájení a vlivu elektromobilu na bilanci spotřeby elektrické energie za využití statistiky provozu elektromobilu. V závěrečné části práce hodnotí investiční a provozní náklady na systém napájení z obnovitelných zdrojů včetně posouzení nároku na dotaci.

## **Klíčová slova**

hybridní systém napájení, fotovoltaická elektrárna, PVGIS, akumulace energie, elektromobil, Vehicle-To-Home, analýza spotřeby elektrické energie

## **Abstract**

The master's thesis deals with the demonstration of the design procedure of household power supply system utilizing renewables. The initial part analyzes logged data from the measurement of the electric power consumption in the household, it composes total yearly consumption profile and contains energy saving opportunities. The following section explores consumption profiles of selected appliances and defines the categories for the power management system. Thesis then compares two options of the photovoltaic power plant design, which is processed by using PVGIS web application. In the part of the design of hybrid power supply system, the aspects of energy storage system design are discussed as well. The attention is dedicated to the possibility of utilizing Vehicle-To-Home technology when connecting the electric vehicle to the household energy supply system and the impacts of electric vehicle integration on the balance of electricity consumption by using the operation statistics of the electric vehicle. In the final part, the investment and operating costs are evaluated and the opportunity of obtaining the subsidy is assessed.

## **Key words**

hybrid power supply system, photovoltaic power plant, PVGIS, energy storage, electric vehicle, Vehicle-To-Home, analysis of electric power consumption

# Obsah

Obsah.....	5
Seznam symbolů a zkratek.....	7
Seznam obrázků .....	12
Seznam tabulek .....	13
Úvod .....	14
1 Analýza toku výkonu v typizovaném objektu .....	15
1.1 Typizovaný objekt.....	15
1.2 Metodika měření spotřeby elektrické energie v objektu.....	16
1.3 Analýza spotřeby elektrické energie zařízeními měřenými v týdenním režimu .....	16
1.4 Analýza spotřeby elektrické energie zařízeními neměřenými v týdenním režimu .....	19
1.5 Určení ztrát v domovním rozvodu a spotřeby neměřených zařízení .....	22
1.6 Analýza celkové týdenní spotřeby elektrické energie .....	22
1.7 Celková roční spotřeba elektrické energie, sezónnost spotřeby.....	25
1.8 Možnosti úspor elektrické energie v objektu .....	27
1.8.1 Plazmová televize.....	27
1.8.2 Světelné zdroje .....	27
2 Analýza proudových profilů vybraných spotřebičů.....	28
2.1 Kategorie spotřebičů .....	28
2.2 Spotřebič kategorie I - chladnička.....	28
2.3 Spotřebič kategorie II – elektrický bojler .....	29
2.4 Spotřebič kategorie III – automatická pračka .....	31
2.5 Spotřebič kategorie IV – plazmová televize .....	32
3 Návrh energetické koncepce .....	35
3.1 Návrh fotovoltaické elektrárny .....	35
3.1.1 Počet fotovoltaických panelů a jejich rozmístění na střeše pro rozšířený návrh .....	37
3.1.2 Analýza předpokládaných ztrát .....	40
3.1.3 Předpokládaná výroba elektrické energie fotovoltaickými panely podle PVGIS.....	40
3.1.3.1 Základní návrh.....	41
3.1.3.2 Rozšířený návrh.....	42
3.2 Dimenzování akumulačních kapacit .....	44
3.3 Použité komponenty systému napájení .....	46
3.3.1 Fotonvoltaické panely.....	46
3.3.2 Hybridní měnič.....	47
3.3.3 Akumulátory.....	49
3.4 Návrh řízení spotřeby .....	50
3.5 Připojení elektromobilu do systému napájení.....	51
3.5.1 Historie využití bidirektivního nabíjení .....	51
3.5.2 Průzkum trhu s elektricky poháněnými vozidly .....	53

3.5.3	Statistika nabíjení elektromobilu .....	54
3.5.4	Určení využitelné kapacity akumulátorů elektromobilu .....	55
3.5.5	Výpočet průměrné spotřeby elektrické energie elektromobilem .....	56
3.5.6	Spotřeba elektromobilu v domácnosti, vliv na roční bilanci domácnosti .....	58
3.5.7	Dostupná akumulační kapacita, nabíjení elektromobilu .....	60
4	Výpočet předpokládaného ekonomického přínosu navrženého řešení .....	63
4.1	Investiční náklady .....	63
4.2	Posouzení možnosti dotace z programu Nová zelená úsporám .....	64
4.3	Náklady na dodanou energii .....	66
4.4	Celkové finanční zhodnocení.....	67
5	Závěr .....	69
	Seznam použité literatury .....	71
	Seznam příloh.....	74
	Příloha A – Statistika nabíjení elektromobilu Nissan Leaf – Elektrotaxi Klimkovice .....	75

## Seznam symbolů a zkratk

Veličiny:

$Az_p$	(°)	azimut fotovoltaických panelů
$Az_r$	(°)	azimut střechy
$a$	(mm)	rozpon střešní konstrukce
$b$	(mm)	délka střešní konstrukce
$C_a$	(kWh)	celková akumulací kapacita
$C_{ab}$	(Ah)	potřebná akumulací kapacita pro napájení pouze z akumulacích zdrojů
$C_{az}$	(Ah)	potřebná akumulací kapacita pro záložní provoz
$C_{bp}$	(Ah)	akumulací kapacita akumulátorové jednotky elektromobilu
$c$	(-)	číslo cyklu
$c_a$	(kWh kWp <sup>-1</sup> )	měrná kapacita akumulátorů
$c_{H_2O}$	(J kg <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	měrná tepelná kapacita vody při 20°C
$\cos \phi$	(-)	účinník elektrického zařízení
$DOD_{bp}$	(-)	maximální hloubka vybití akumulátoru elektromobilu
$DOD_{max}$	(-)	maximální hloubka vybití akumulátoru, z angl. Depth of Discharge
$d_d$	(km)	vzdálenost ujetá za pracovní den
$d_e$	(km)	vzdálenost ujetá elektromobilem
$d_r$	(km)	orientační roční nájezd
$d_w$	(km)	vzdálenost ujetá za víkendový den
$d_x$	(km)	vzdálenost ujetá od posledního nabíjení
$E$	(kWh)	celková spotřebovaná energie
$E_{0x}$	(%)	původní stav nabití baterie
$E_{1x}$	(%)	nový stav nabití baterie
$E_{ab}$	(kWh)	potřebná akumulací schopnost pro napájení pouze z akumulacích zdrojů
$E_{accu}$	(kWh)	potřebná akumulací kapacita pro provoz hybridního systému
$E_{ad}$	(kWh)	dostupná akumulací kapacita v pracovní den
$E_{aw}$	(kWh)	dostupná akumulací kapacita o víkendovém dni
$E_{bp}$	(kWh)	akumulací schopnost akumulátorové jednotky elektromobilu
$E_{db}$	(kWh)	maximální spotřebovaná energie za den snižená o spotřebu elektrického bojleru při ohřevu vody v zásobníku
$E_{ddod}$	(kWh)	průměrná hodnota elektrické energie dodané fotovoltaickou elektrárnou za den
$E_{dk}$	(kWh)	celková spotřebovaná energie za $k$ -tý den
$E_{dmax}$	(kWh)	maximální spotřebovaná energie za den
$E_e$	(kWh)	spotřeba elektrické energie elektromobilem
$E_{eb}$	(Wh)	energie potřebná k ohřátí vody v zásobníku bojleru
$E_{ed}$	(kWh)	spotřeba elektrické energie elektromobilem za pracovní den
$E_{em}$	(kWh)	spotřeba elektrické energie elektromobilem za měsíc
$E_{eo}$	(kWh)	spotřeba elektrické energie elektromobilem za roční období $o$
$E_{er}$	(kWh)	spotřeba elektrické energie elektromobilem za rok
$E_{et}$	(kWh)	spotřeba elektrické energie elektromobilem za týden
$E_{eto}$	(kWh)	týdenní spotřeba elektrické energie elektromobilem za roční období $o$

$E_{eto}/E_{etj}$ (-)	poměr týdenní spotřeby elektrické energie elektromobilem za roční období $o$ a týdenní spotřeby elektrické energie elektromobilem za zimu
$E_{etz}$ (kWh)	spotřeba elektrické energie elektromobilem za týden v zimě
$E_{ev}$ (kWh)	využitelná kapacita akumulátoru elektromobilu
$E_{ew}$ (kWh)	spotřeba elektrické energie elektromobilem za víkendový den
$E_{mC}$ (kWh)	celková měsíční spotřeba elektrické energie včetně elektromobilu
$E_{mdod}$ (kWh)	průměrná hodnota elektrické energie dodané fotovoltaickou elektrárnou za měsíc
$E_{mp+}$ (kWh)	kladná energetická bilance systému za měsíc $m$ , pokud pro $m$ existuje
$E_o$ (kWh)	celková spotřebovaná energie všemi zařízeními za roční období $o$
$E_p$ (l/100 km)	průměrná spotřeba nafty
$E_{pb}$ (kWh/100 km)	průměrná spotřeba elektromobilu dle stavu baterie za dobu sledování
$E_{pbx}$ (kWh/100 km)	průměrná spotřeba elektromobilu dle stavu baterie
$E_{ppx}$ (kWh/100 km)	průměrná spotřeba elektromobilu dle palubního počítače
$E_{ps}$ (kWh/100 km)	průměrná spotřeba elektromobilu dle dobíjení za dobu sledování
$E_r$ (kWh)	roční spotřeba elektrické energie
$E_{rdod}$ (kWh)	průměrná hodnota elektrické energie dodané fotovoltaickou elektrárnou za rok
$E_{sx}$ (kWh)	odebraná energie ze stojanu
$E_t$ (kWh)	celková spotřebovaná energie za týden
$E_{to}$ (kWh)	celková spotřebovaná energie všemi zařízeními za týden v ročním období $o$
$E_{to}/E_{tz}$ (%)	poměr týdenní spotřeby energie za roční období $o$ k týdenní spotřebě energie za zimu
$E_{to1}$ (kWh)	celková spotřebovaná energie všemi zařízeními za týden v ročním období, ve kterém měsíc $m$ začíná
$E_{to2}$ (kWh)	celková spotřebovaná energie všemi zařízeními za týden v ročním období, ve kterém měsíc $m$ končí, pokud se roční období $o$ v měsíci $m$ změnilo
$h_p$ (-)	výška fotovoltaického panelu
$I_{mpp}$ (A)	jmenovitý proud fotovoltaického panelu
$I_{SC}$ (A)	proud nakrátko fotovoltaického panelu
$i$ (-)	číslo vzorku
$k$ (-)	číslo dne v týdnu
$k_a\%$ (%)	odhadovaný procentní podíl energie, která se nespotebje přímo
$k_{rv}$ (%)	míra využití energie pro krytí v místě spotřeby
$l_k$ (mm)	délka krokve
$l_{omin}$ (mm)	minimální vzdálenost od okraje střechy
$l_p$ (mm)	šířka fotovoltaického panelu
$l_r$ (mm)	vzdálenost fotovoltaických panelů od střešní krytiny
$l_s$ (mm)	vzdálenost mezi sousedními panely daná šířkou bodové svorky
$l_t$ (mm)	vzdálenost mezi hřebenem střechy a spodní hranou tašky s větracím otvorem
$m$ (-)	číslo měsíce
$m_n$ (-)	počet vzorků v daném časovém úseku
$N$ (-)	počet druhů spotřebičů navýšený o 1 pro zohlednění ztrát
$N_c$ (-)	počet cyklů daného spotřebiče za týden
$N_{m1}$ (-)	počet dní v měsíci $m$ , kdy trvá roční období, ve kterém měsíc $m$ začíná



$N_{m2}$	(-)	počet dní v měsíci $m$ , kdy trvá roční období, ve kterém měsíc $m$ končí, pokud se roční období $o$ v měsíci $m$ změnilo
$N_o$	(-)	počet dní v ročním období $o$
$N_p$	(Kč)	náklady na palivo
$N_{pl}$	(Kč/l)	průměrná cena nafty v České republice
$N_t$	(-)	počet dní v týdnu
$N_z$	(KčMWh <sup>-1</sup> )	orientační výkupní cena přebytků elektrické energie
$n_{bcp}$	(-)	počet článků v akumulátorovém modulu řazených paralelně
$n_{bcs}$	(-)	počet článků v akumulátorovém modulu řazených sériově
$n_{bms}$	(-)	počet modulů v akumulátorové jednotce řazených sériově
$n_{ph}$	(-)	počet fotovoltaických panelů ve sloupci
$n_{phm}$	(-)	maximální počet fotovoltaických panelů ve sloupci
$n_{pl}$	(-)	počet fotovoltaických panelů v řadě
$n_{plm}$	(-)	maximální počet fotovoltaických panelů v řadě
$n_p$	(-)	celkový počet fotovoltaických panelů na střeše
$n_{pm}$	(-)	maximální počet panelů na střeše
$n_z$	(-)	počet dní, kdy je systém napájen pouze z akumulátorové baterie
$o$	(-)	roční období
$P_0$	(W)	příkon
$P_{01}$	(W)	střední příkon v úseku I. - při přechodném jevu při zapnutí
$P_{02}$	(W)	střední výkon v úseku II. – při provozu
$P_{02a}$	(W)	příkon při ohřevu vody
$P_{02b}$	(W)	příkon v ostatních fázích cyklu
$P_{02mod}$	(W)	příkon spotřebiče při provozu modifikovaný systémem řízení
$P_{03}$	(W)	střední příkon v úseku III. – při přechodném jevu při vypnutí
$P_{04}$	(W)	střední příkon v úseku IV. – při pohotovostním režimu
$P_{0C}$	(W)	celkový příkon vybraných spotřebičů
$P_{0Cmax}$	(kW)	maximální okamžitý příkon
$P_{0Cmod}$	(W)	celkový příkon vybraných spotřebičů modifikovaný systémem řízení
$P_{0Cr}$	(kW)	celkový příkon všech zařízení v $r$ -té minutě
$P_{0i}$	(W)	příkon $i$ -tého vzorku
$P_{0n}$	(W)	střední příkon spotřebiče v daném časovém úseku
$P_{0off}$	(W)	průměrný příkon po dobu 60 s před vypnutím zařízení
$P_{0on}$	(W)	průměrný příkon po dobu 60 s od zapnutí zařízení
$P_{0rj}$	(kW)	příkon $j$ -tého druhu zařízení v $r$ -té minutě
$P_{fve}$	(kWp)	instalovaný výkon fotovoltaické elektrárny
$P_n$	(W)	jmenovitý příkon spotřebiče
$P_{np}$	(kWp)	jmenovitý výkon fotovoltaického panelu
$P_{np\%}$	(%)	maximální odchylka jmenovitého výkonu fotovoltaického panelu
$p_0(t)$	(W)	okamžitý příkon
$Q_{ss,u}$	(kWhrok <sup>-1</sup> )	celkový využitelný energetický zisk ze systému
$r$	(-)	minuta, kdy nastává nejvyšší spotřeba energie
$T$	(h)	perioda vzorků
$T_1$	(s)	doba trvání úseku I. – přechodného jevu při zapnutí

$T_3$	(s)	doba trvání úseku III. – při přechodném jevu při vypnutí
$T_{CF}$	(-)	teplotní korekční faktor akumulátoru
$T_n$	(s)	doba trvání časového úseku
$t$	(s)	čas
$t_0$	(°C)	počáteční teplota vody
$t_l$	(°C)	konečná teplota vody
$t_{coff}$	(-)	minuta v týdnu, kdy je daný spotřebič vypnut při cyklu $c$
$t_{con}$	(-)	minuta v týdnu, kdy je daný spotřebič zapnut při cyklu $c$
$t_{mt}$	(-)	počet minut v týdnu
$t_n$	(s)	konečný čas daného úseku
$t_{n-l}$	(s)	počáteční čas daného úseku
$U_{accu}$	(V)	napětí akumulátorové baterie
$U_{bc}$	(V)	jmenovité napětí článku akumulátorové jednotky elektromobilu
$U_{bp}$	(V)	jmenovité napětí akumulátorové jednotky elektromobilu
$U_{mpp}$	(V)	jmenovité napětí fotovoltaického panelu
$U_{OC}$	(V)	napětí naprázdno fotovoltaického panelu
$V_{eb}$	(m <sup>3</sup> )	objem zásobníku teplé vody
$v_{tv}$	(l kWp <sup>-1</sup> )	měrný objem zásobníku teplé vody
$x$	(-)	číslo nabíjení
$x_{max}$	(-)	celkový počet nabíjení
$\alpha$	(°)	sklon střechy
$\Delta P_{accu\%}$	(-)	procentní ztráty v akumulátoru
$\Delta P_{accu}'\%$	(-)	upravené procentní ztráty v akumulátoru
$\Delta P_{inv\%}$	(-)	procentní ztráty v DC/AC měniči
$\Delta P_{mppt\%}$	(-)	procentní ztráty v MPPT regulátoru
$\Delta P_{refl\%}$	(-)	ztráty způsobené odrazivostí
$\Delta P_{sys\%}$	(-)	předpokládané systémové procentní ztráty
$\Delta P_{temp\%}$	(-)	ztráty způsobené teplotou a malým dopadem slunečního záření
$\Delta P_{tran\%}$	(-)	procentní ztráty při přenosu
$\eta_{accu}$	(-)	účinnost akumulátorů
$\eta_{accu}'$	(-)	upravená účinnost akumulátorů
$\eta_{eb}$	(-)	účinnost elektrického bojleru
$\eta_{inv}$	(-)	účinnost DC/AC měniče
$\eta_{mppt}$	(-)	účinnost MPPT regulátoru
$\eta_p$	(%)	účinnost fotovoltaického panelu
$\eta_{sys}$	(-)	účinnost systému napájení
$\eta_{tran}$	(-)	účinnost přenosu
$\rho_{H2O}$	(kg m <sup>-3</sup> )	hustota vody při 20°C

Dolní indexy:

- |   |   |
|---|---|
| 1 | základní varianta návrhu, pokud není uvedeno jinak v seznamu veličin  |
| 2 | rozšířená varianta návrhu, pokud není uvedeno jinak v seznamu veličin |

## Zkratky:

A++	třída energetické účinnosti domácího spotřebiče
AC	střídavý proud
BMS	systém managementu baterií, z angl. Battery Management System
ČSN	česká technická norma
DC	stejnoseměrný proud
DPH	daň z přidané hodnoty
EN	Evropská norma
FVE	fotovoltaická elektrárna
FV	fotovoltaický
j	jaro
LED	dioda vyzařující světlo, z angl. Light-Emitting Diode
Li-Ion	lithium-iontový akumulátor
LiFePo, LiFePO <sub>4</sub>	lithium-železo-fosfátový akumulátor
l	léto
MPPT	sledovač bodu maximálního výkonu, z angl. Maximum Power Point Tracker
N	množina přirozených čísel
NFC	bezdrátová komunikace mezi elektronickými zařízeními na velmi krátkou vzdálenost, z angl. Near Field Communication
Ni-Cd	nikl-kadmiový akumulátor
nn	nízké napětí
NT	nízký tarif
NZÚ	Nová zelená úsporám
p	podzim
Plug-in hybrid	vozidlo kombinující spalovací motor a elektromotor s možností nabíjení akumulátoru ze sítě
PVGIS	fotovoltaický geografický informační systém, z angl. Photovoltaic Geographical Information System
UTP	nestíněná kroucená dvoulinka, typ kabelu; z angl. Unshielded Twisted Pair
V2G	funkce umožňující tok energie z akumulátoru elektromobilu do rozvodné sítě, z angl. Vehicle-To-Grid
V2H	funkce umožňující tok energie z akumulátoru elektromobilu do domovní rozvodné sítě, z angl. Vehicle-To-Home
V2X	systémy pro interakci vozidla s okolím, z angl. Vehicle-To-Everything
VRB	vanadiová redoxová baterie
VT	vysoký tarif
z	zima

## Seznam obrázků

obr. 1-1 Nákres jižní strany objektu [1] .....	15
obr. 1-2 Znázornění rozměrů střešní konstrukce objektu .....	16
obr. 1-3 Graf příkonu všech spotřebičů měřených po dobu týdne v čase .....	17
obr. 1-4 Graf příkonu všech spotřebičů měřených po dobu týdne během pracovního dne .....	18
obr. 1-5 Graf příkonu všech spotřebičů měřených po dobu týdne během víkendového dne .....	19
obr. 1-6 Rozdělení odběrového diagramu plazmové televize na časové úseky .....	20
obr. 1-7 Graf příkonu všech spotřebičů neměřených po dobu týdne v čase .....	22
obr. 1-8 Graf celkového odebíraného příkonu zařízeními v objektu během týdne .....	23
obr. 1-9 Denní diagramy odebíraného příkonu v objektu .....	24
obr. 1-10 Graf vývoje měsíční spotřeby energie v průběhu roku .....	26
obr. 2-1 Odběrový profil chladničky (vlevo), zjednodušený odběrový profil (vpravo) .....	29
obr. 2-2 Odběrový profil elektrického bojleru (vlevo), zjednodušený odběrový profil (vpravo) .....	30
obr. 2-3 Ukázka možnosti řízení spotřeby přerušením chodu elektrického bojleru .....	30
obr. 2-4 Odběrový profil automatické pračky (vlevo), zjednodušený odběrový profil (vpravo) .....	31
obr. 2-5 Ukázka možnosti řízení spotřeby odložením startu automatické pračky .....	32
obr. 2-6 Odběrový diagram plazmové televize při měření spínacích dějů .....	33
obr. 2-7 Odběrový profil plazmového televizoru (vlevo), zjednodušený odběrový profil (vpravo) .....	33
obr. 3-1 Voltampérová charakteristika fotovoltaického panelu s vyznačeným bodem maximálního výkonu [2] .....	36
obr. 3-2 Schéma hybridního systému napájení v rodinném domě; koláž [11] .....	37
obr. 3-3 Nákres jižní strany objektu po instalaci fotovoltaických panelů v rozšířené verzi [1]; upraveno autorem .....	39
obr. 3-4 Nákres jižní strany objektu po instalaci fotovoltaických panelů v základní verzi [1]; upraveno autorem .....	42
obr. 3-5 Srovnání měsíční spotřeby a výroby elektrické energie v systému dle základního návrhu ....	42
obr. 3-6 Srovnání měsíční spotřeby a výroby elektrické energie v systému dle rozšířeného návrhu ....	43
obr. 3-7 Fotovoltaický panel BenQ řady PM060M02Plus v černém provedení [11]; upraveno autorem .....	47
obr. 3-8 Hybridní systém pro výrobu a akumulaci elektrické energie Savebox Home [15]; upraveno autorem .....	47
obr. 3-9 Akumulátorový modul Fitcraft Energy LA3016 [16]; upraveno autorem .....	49
obr. 3-10 Elektromobil Mitsubishi i-MiEV s připojeným zařízením MiEV Power Box [19] .....	52
obr. 3-11 Nabíjecí stanice EV Power Station k vozu Nissan Leaf pro V2H systém LEAF to Home [20] .....	52
obr. 3-12 Elektrotaxi Nissan Leaf připojené k nabíjecí stanici v Klimkovicích .....	55
obr. 3-13 Vybíjecí charakteristiky akumulátorového článku pro čtyři úrovně vybíjecího proudu [21] .....	56
obr. 3-14 Měsíční bilance výroby a spotřeby v domácnosti při zapojení elektromobilu .....	60
obr. 3-15 Graf závislosti spotřebované energie elektromobilem na ujeté vzdálenosti .....	61
obr. 3-16 Průběh nabíjení elektromobilu Nissan Leaf na nabíjecím stojanu v areálu VŠB-TU Ostrava .....	61

## Seznam tabulek

tab. 1-1 Spotřebiče měřené v týdenním režimu .....	17
tab. 1-2 Přehled spotřebičů neměřených v týdenním režimu.....	21
tab. 1-3 Přehled denní spotřeby elektrické energie v týdnu a celková spotřeba .....	25
tab. 1-4 Základní parametry pro návrh systému napájení .....	25
tab. 1-5 Přehled spotřeby elektrické energie za jednotlivá roční období, celková roční spotřeba .....	25
tab. 2-1 Kategorie spotřebičů v objektu .....	28
tab. 3-1 Výstup z aplikace PVGIS pro základní návrh [12]; upraveno autorem.....	41
tab. 3-2 Výstup z aplikace PVGIS pro rozšířený návrh [11]; upraveno autorem .....	43
tab. 3-3 Technické údaje fotovoltaických panelů [14]; upraveno autorem .....	46
tab. 3-4 Technické údaje hybridního systému Savebox Home [15] .....	48
tab. 3-5 Technické údaje akumulátorů LA3016 [18] .....	50
tab. 3-6 Přehled vybraných elektrických vozidel dostupných v Evropě .....	54
tab. 3-7 Technické údaje k akumulátorům vozu Nissan Leaf [21] .....	55
tab. 3-8 Tabulka hodnot pro výpočet průměrné spotřeby elektromobilu .....	57
tab. 3-9 Spotřeba elektrické energie elektromobilem během ročních období a celkem za rok .....	59
tab. 3-10 Měsíční bilance výroby a spotřeby v domácnosti při zapojení elektromobilu.....	59
tab. 4-1 Investiční náklady na pořízení systému napájení dle základního návrhu .....	63
tab. 4-2 Investiční náklady na pořízení systému napájení dle rozšířeného návrhu .....	64
tab. 4-3 Technické podmínky získání dotace z programu Nová zelená úsporám.....	65
tab. 4-4 Roční provozní náklady jednotlivých variant a rozdíly oproti stávajícímu stavu .....	67
tab. 4-5 Celkové finanční zhodnocení variant a návratnost investice .....	68
tab. 4-6 Návratnost investice .....	68

## Úvod

Využití obnovitelných zdrojů energie je velkým tématem z hlediska udržitelnosti rozvoje lidské společnosti. Nemalé investice do tohoto odvětví znamenají dynamický vývoj v technologiích, přičemž se zvyšující se poptávkou zároveň klesají výrobní náklady u zařízení dle posledních trendů. Ruku v ruce s výrobními náklady klesají také pořizovací náklady pro koncového zákazníka, čímž se ještě nedávno finančně značně nákladná řešení stávají dostupnějšími.

Cílem diplomové práce je navrhnout takovou koncepci napájení bytového komplexu, která v sobě bude kombinovat dostupné moderní technologie, zároveň však bude mít zajištěnou ekonomickou návratnost, aby byl navržený produkt zajímavý nejen pro osoby s pozitivním vztahem k nejnovějším technickým trendům.

Základním kritériem pro návrh systému napájení je možnost jeho propojení s distribuční sítí. Nejkomplexnějším řešením je volba hybridního systému s možností ostrovního provozu, který kombinuje výhodu soběstačnosti ostrovního systému s okamžitou zálohou v podobě připojení na distribuční síť.

Zdrojem elektrické energie v systému bude fotovoltaická elektrárna umístěná na střeše posuzovaného objektu. Pro stanovení energetických výnosů z instalovaného zařízení s ohledem na geografické podmínky bude využita webová aplikace PVGIS. Zatímco u ostrovního systému je nutné, aby fotovoltaická elektrárna vyráběla vždy tolik energie, kolik se v dané chvíli spotřebuje a kolik lze navíc akumulovat, u hybridního systému existuje v tomto směru volnost. Tím se otevírají možnosti k posouzení více variant návrhu a zjištění, zda se investice do naddimenzování zdroje vyplatí.

V první řadě je ovšem důležité získat přehled o rozložení spotřeby v celém kalendářním roce z analýzy dat naměřených v domácnosti. Až poté je možné přistoupit k návrhu fotovoltaické elektrárny a dle instalovaného výkonu a dalších kritérií, která budou v práci podrobně rozebrána, dimenzovat také ostatní komponenty systému, mezi které patří například hybridní měnič nebo akumulátory.

Pro koncepční řešení energetické situace domu bude v návrhu posouzena také možnost zavedení chytré elektroinstalace, která může kromě zvýšení komfortu v domácnosti taktéž přinést úsporu elektrické energie prostřednictvím ovládání vybraných spotřebičů.

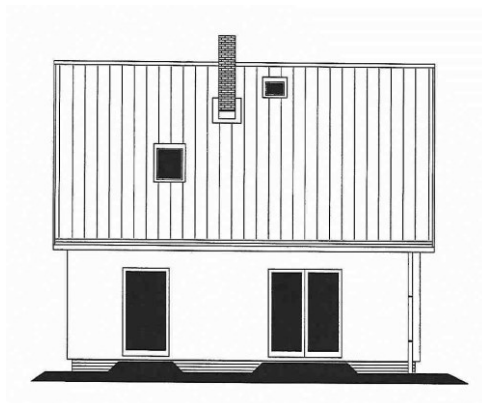
Neméně zajímavou oblastí je možnost zapojení elektromobilu do domovního systému napájení. Při využití bidirektivního nabíjení nemusí být elektromobil pouhým spotřebičem elektrické energie, v takovém případě je totiž umožněn tok energie z akumulátoru elektromobilu do domácího elektrického rozvodu. Elektromobil tak lze využít pro napájení spotřebičů, či jako další akumulátor elektrické energie v domácnosti. V případě vybití domácího akumulátoru dokonce existuje možnost dobít domácí úložiště z akumulátoru elektromobilu. Zhodnocení energetické bilance při využití elektromobilu v síti je dalším z cílů této práce. Pro splnění tohoto cíle bude iniciován sběr provozních dat konkrétního elektrického vozidla.

Závěrečná část práce se věnuje vyhodnocení investičních a provozních nákladů systému a stanovení doby návratnosti investice do vybraného zařízení.

# 1 Analýza toku výkonu v typizovaném objektu

## 1.1 Typizovaný objekt

Návrh systému napájení z obnovitelných zdrojů je proveden pro rodinný dům konfigurace 5+1, obývaný čtyřmi osobami. Objekt se nachází v katastrálním území obce Klimkovice na souřadnicích 49.803N, 18.0993E. Tepelné ztráty objektu jsou vyčísleny na 6,2 kW. [1] Střecha objektu je sedlová se sklonem  $38^\circ$  a plocha střechy vhodná pro umístění fotovoltaických panelů je orientována na jih pod azimutem  $210^\circ$ . V okolí se nachází jedna stejně vysoká budova a listnaté stromy v sousedství, které svým vzrůstem mírně přesahují úroveň spodní hrany střechy. Orientace těchto objektů ovšem nezpůsobuje vrhání stínu na fotovoltaické panely vzhledem k trajektorii Slunce během roku. Zastínění části modulu může způsobit lokální přehřátí a následné poškození celého modulu. Pro zmírnění tohoto působení jsou panely vybaveny obtokovými diodami. [2]



obr. 1-1 Nákres jižní strany objektu [1]

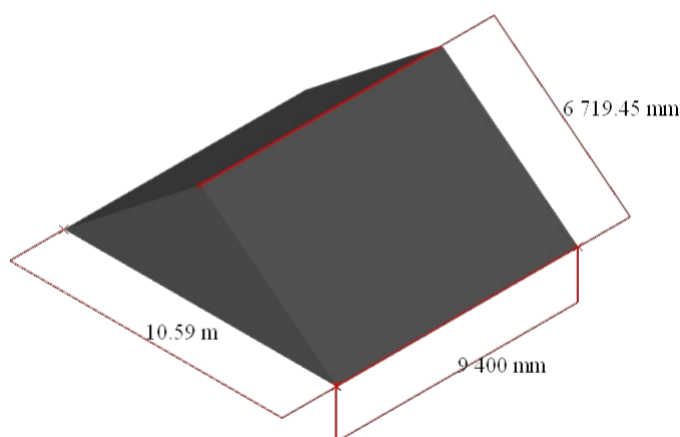
Rozměry střechy jsou převzaty z projektové dokumentace domu, kde ovšem není uvedena délka krokve. Jelikož tento rozměr určuje šířku plochy využitelné pro umístění solárních panelů, je nutné, aby byl dopočítán podle následujícího postupu. Využitelnou plochu omezují součásti střechy, kterými jsou komín, střešní okno a půdní okno. Rozměry střechy jsou znázorněny na obr. 1-2.

- rozpon střešní konstrukce:  $a = 10\,590\text{ mm}$
- délka střešní konstrukce:  $b = 9\,400\text{ mm}$
- sklon střechy:  $\alpha = 38^\circ$
- délka krokve:  $l_k = ?$

$$\cos \alpha = \frac{\frac{a}{2}}{l_k} \quad (1.1)$$

$$l_k = \frac{a}{2 \cdot \cos \alpha} = \frac{10590}{2 \cdot \cos 38^\circ} = 6719\text{ mm} \quad (1.2)$$

Délka krokve  $l_k = 6719\text{ mm}$ .



obr. 1-2 Znázornění rozměrů střešní konstrukce objektu

## 1.2 Metodika měření spotřeby elektrické energie v objektu

Měření celkové spotřeby elektrické energie za týden se uskutečnilo celkem třikrát – během podzimního, zimního a jarního týdne. Měření spotřeby jednotlivých zařízení v objektu bylo provedeno zároveň s celkovým měřením, a to po dobu jednoho týdne v zimním období. Měřicí přístroj Voltcraft Energy Logger 3500 zaznamenával každou minutu efektivní hodnoty fázového napětí a síťového proudu vybraných spotřebičů, z nichž dopočítával jejich příkon. Ze získaných minutových příkonů lze stanovit celkovou týdenní spotřebu vybraných spotřebičů. Rozdíl mezi celkovou týdenní spotřebou energie a celkovou týdenní spotřebou vybraných spotřebičů je tvořen jednak energií dodanou spotřebičům neměřeným v týdenním režimu, jednak energií pro krytí ztrát v domovním rozvodu.

U spotřebičů neměřených po dobu celého týdne se použije metoda aproximace spotřeby. U těchto spotřebičů probíhalo měření napětí a odebíraného proudu po dobu sta sekund a s periodou 0,02 s. Postup určení spotřeby je popsán dále v kap. 1.4.

## 1.3 Analýza spotřeby elektrické energie zařízeními měřenými v týdenním režimu

Podle typu provozu spotřebičů měřených v týdenním režimu se rozlišují spotřebiče pracující v cyklech, které se mohou opakovat vícekrát za den, a spotřebiče pracující v určitém denním režimu, kdy jsou samočinně nebo na popud uživatele spínány v přibližně stejných dobách každý den v týdnu, případně s diferencí mezi pracovním dnem a víkendovým dnem. Přehled měřených spotřebičů s příslušným typem provozu se nachází v tab. 1-1.

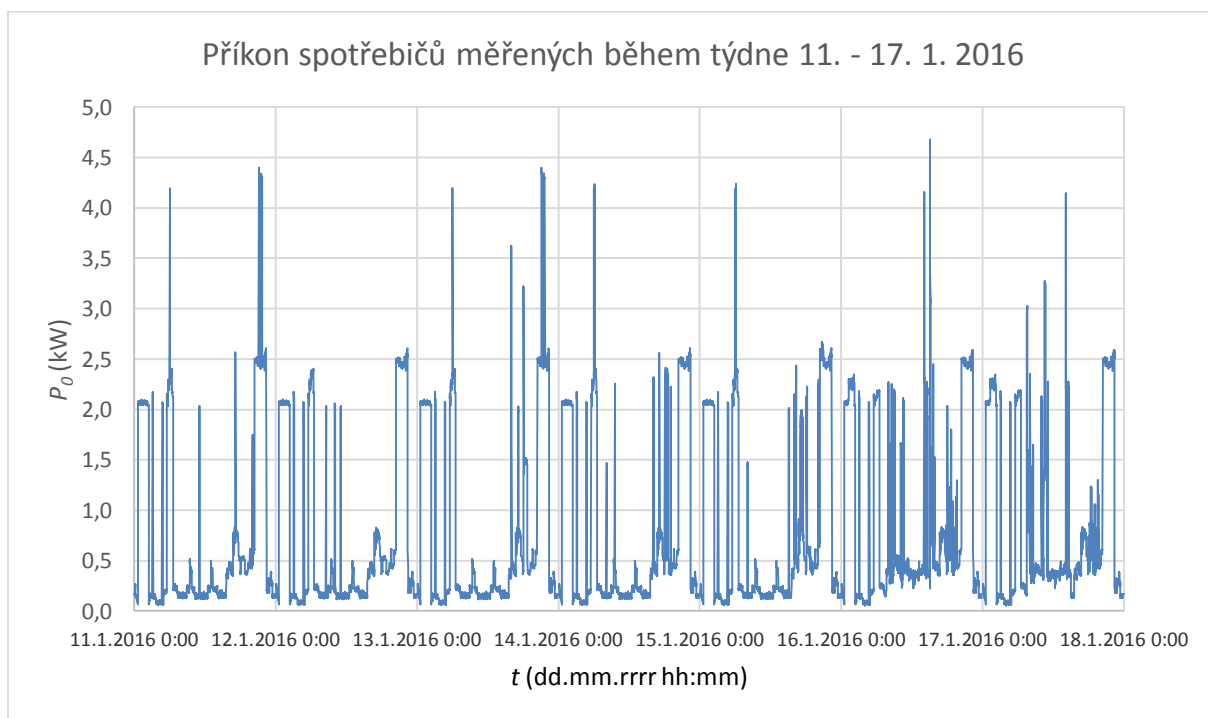
Na obr. 1-3 je znázorněn souhrnný graf naměřené týdenní spotřeby elektrické energie. Z průběhu je zřetelná pravidelnost se základem ve spotřebičích denního typu provozu. Špičky příkonu jsou naopak zapříčiněny spotřebiči s cyklickým typem provozu, do nichž spadají přístroje k přípravě pokrmů, případně úklidu a údržbě domácností. Většinou se jedná o tepelné spotřebiče, které mají jmenovitý příkon  $P_n$  větší než 1000 W. Přestože bývá jejich pracovní cyklus často délky pouze několika minut, ve výsledné křivce se projeví zřetelným nárůstem příkonu.



tab. 1-1 Spotřebiče měřené v týdenním režimu

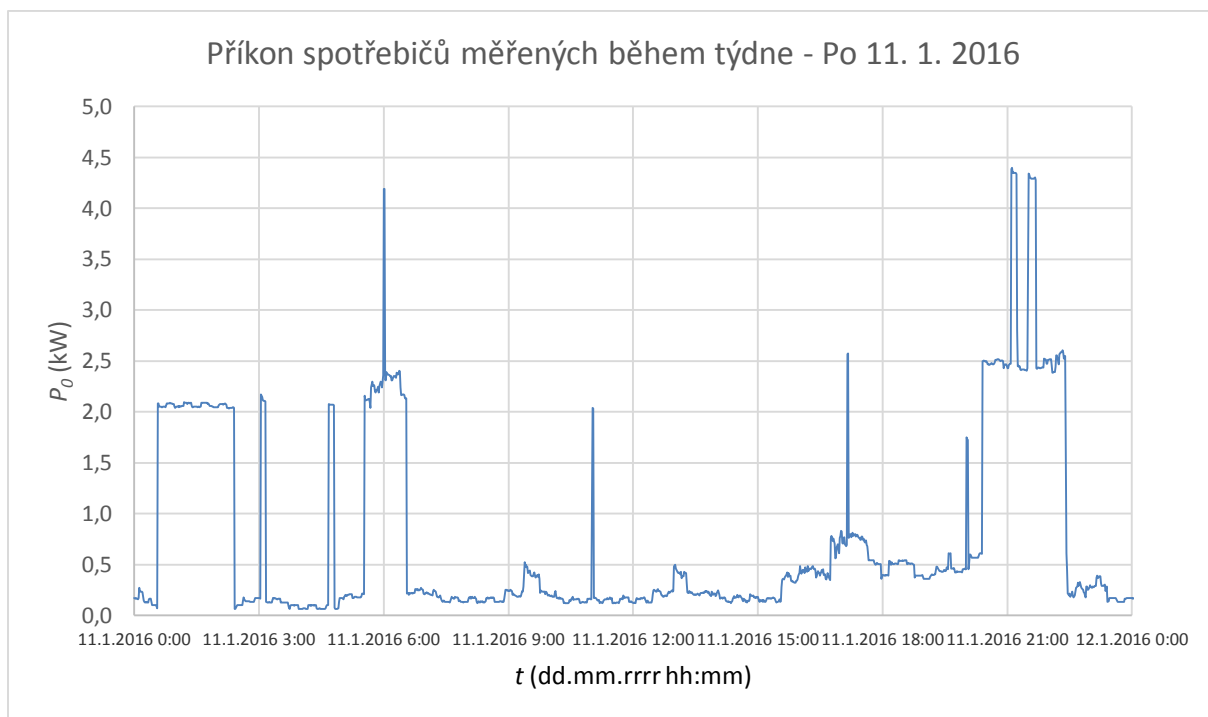
Spotřebič	typ provozu	jmenovitý příkon $P_n$ (W)
Plynový kotel	denní	120
Automatická pračka	cyklický	2 100
Rychlovarná konvice	cyklický	1 800
Mraznička	denní	100
Plazmová televize	denní	300
Mikrovlnná trouba	cyklický	1 200
Myčka nádobí	cyklický	2 100
Chladnička	denní	70
Elektrický bojler	denní	2 000
Elektrická trouba	cyklický	2 500
Vysavač	cyklický	1 500
Elektrická varná deska	cyklický	2 100
Počítač	denní	90
LCD monitor	denní	50
Žehlička	cyklický	1 100

Pokud během pracovního cyklu tepelného spotřebiče zároveň nahřívá elektrický bojler, tedy další tepelný spotřebič o vysokém jmenovitém příkonu, v celkovém součtu běžně dosahuje odběrová špička hodnot přes 4 kW, v extrémním případě až 4,7 kW.



obr. 1-3 Graf příkonu všech spotřebičů měřených po dobu týdne v čase

Rozdělení spotřeby během pracovního dne je následující: brzy ráno dochází k ohřevu vody v elektrickém bojleru. Obyvatelé vstávají po půl šesté a v průběhu necelé hodiny tři z nich opouštějí dům. Během této doby je z vybraných spotřebičů v provozu televize a také proběhne jeden pracovní cyklus rychlovarné konvice k přípravě horkého nápoje. Zbývající osoba má pružnou pracovní dobu a čas jejího dopoledního odchodu závisí na dohodnutých jednáních. Typicky před odchodem si tato osoba připravuje horký nápoj, do té doby pracuje na firemním laptopu. Toto zařízení se nezapočítává do spotřeby v domě, jelikož jeho nabíjení probíhá odpoledne v kanceláři a v domácnosti spotřebovává energii dodanou vlastním akumulátorem.

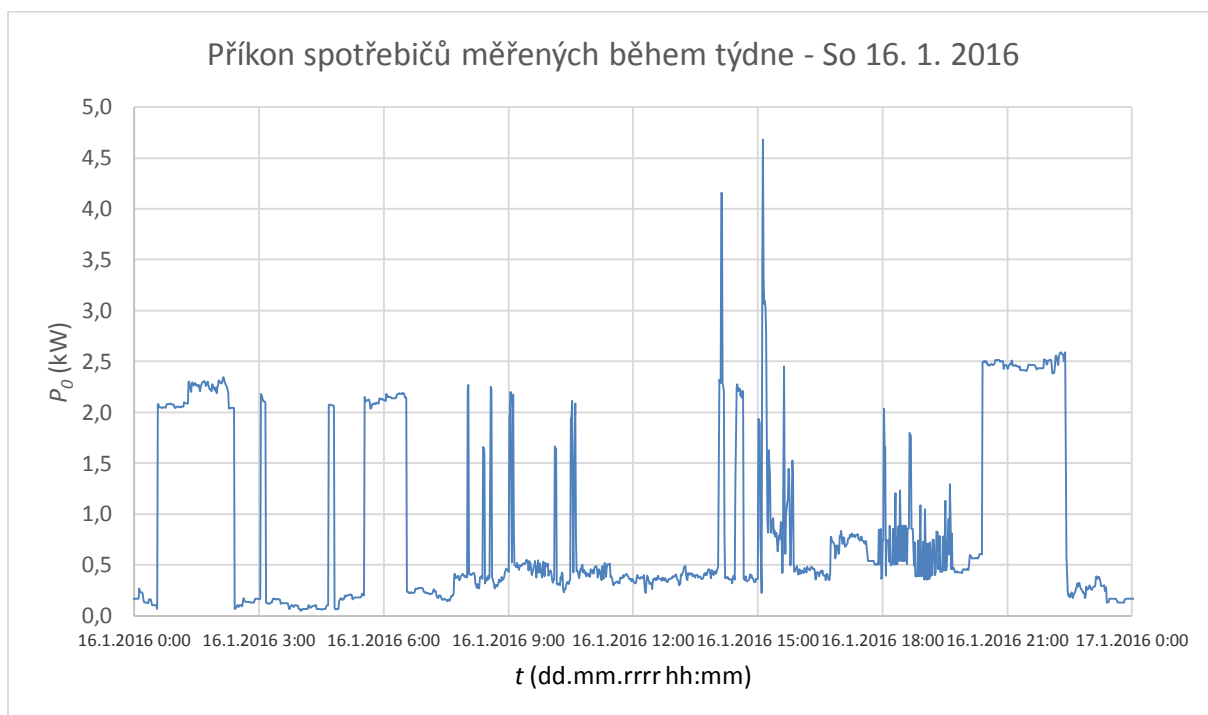


**obr. 1-4 Graf příkonu všech spotřebičů měřených po dobu týdne během pracovního dne**

Návrat obyvatel nastává okolo 15:30. Po hodině sledování televize je zapnut i počítač a celkový příkon může vystoupat blízko hranice 1 kW. Krátké špičky zapříčiní příprava večere. Po osmé hodině večer spíná elektrický bojler k nahřátí vody pro večerní hygienu. Pokud je po večeři spuštěná myčka nádobí, pak příkon v celkovém úhrnu dosahuje maxima, tj. hodnot okolo 4,5 kW. Útlum nastává okolo 23. hodiny, kdy obyvatelé provádějí hygienu a chystají se ke spánku.

Víkendové rozložení spotřeby je poněkud odlišné. Obyvatelé domu vstávají před osmou hodinou ranní, následuje zapnutí televize a příprava snídaně. Poté přicházejí na řadu domácí práce a úklid. Od 9:00 je spuštěna pračka, což je zřetelně vidět z grafu na obr. 1-5. Po několikaminutovém prvotním nahřátí vody příkon pračky klesá z 1,7 kW na přibližně 0,1 kW, který s kolísavým charakterem trvá po zbytek cyklu. Před jedenáctou hodinou probíhá příprava obědu, poté rodina sleduje televizi. Odběrové špičky v odpoledních hodinách jsou kombinací krátkých sepnutí bojleru a vaření kávy, resp. spuštění pračky v 15 hodin. Nestálost odběru v období mezi 18. a 20. hodinou způsobuje žehlička charakterem svého provozu, kdy po několik desítek sekund nahřívá, poté se obvod rozeptne a minutu, či déle, pracuje bez odběru proudu. Večer, podobně jako v pracovní den, sepne bojler a po 23. hodině

členové rodiny jdou spát. Stojí za povšimnutí, že celkový příkon měřených spotřebičů během doby aktivity obyvatel prakticky nepoklesne pod přibližně 0,4 kW. Do značné míry je tento fakt zapříčiněn téměř nepřetržitým provozem alespoň jednoho ze zábavních prostředků – televize nebo počítače.



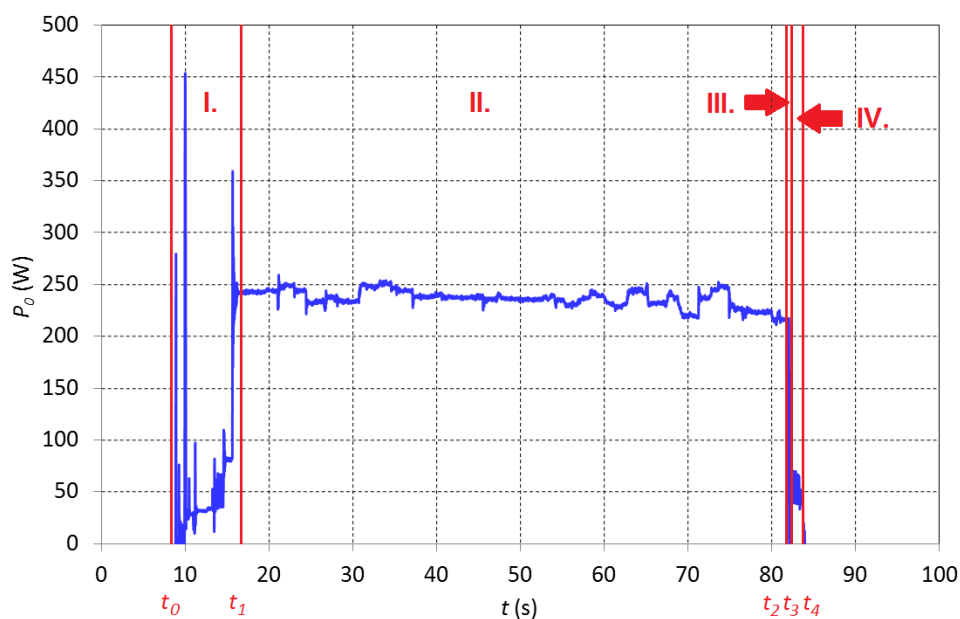
obr. 1-5 Graf příkonu všech spotřebičů měřených po dobu týdne během víkendového dne

#### 1.4 Analýza spotřeby elektrické energie zařízeními neměřenými v týdenním režimu

Použitá metoda aproximace spotřeby vychází z určení středního příkonu spotřebiče během jeho provozu. Četnost použití a délka provozu spotřebiče je dána zvyklostmi obyvatelů domu, podle kterých se sestaví týdenní spínací schéma i pro tyto spotřebiče.

Z naměřených hodnot napětí a proudu se zkonstruuje závislost příkonu na čase. Křivka se následně rozdělí do jednoho, nebo více charakteristických úseků, jak je znázorněno na odběrovém diagramu plazmové televize na obr. 1-6:

- I. přechodný jev při zapnutí – zapínací ráz, prvotní nahřátí u tepelných spotřebičů
- II. provoz – kontinuální, cyklický
- III. přechodný jev při vypnutí – obvykle jen několik period
- IV. stand-by režim – příkon zařízení v pohotovostním režimu.



obr. 1-6 Rozdělení odběrového diagramu plazmové televize na časové úseky

Dále se počítá střední příkon pro každý úsek křivky. Pro spojitou křivku platí:

$$P_{0n} = \frac{1}{T_n} \int_{t_{n-1}}^{t_n} p_0(t) dt \quad (1.3)$$

kde:  $P_{0n}$  je střední příkon spotřebiče v daném časovém úseku (W)

$T_n$  je doba trvání časového úseku (s);  $T_n = t_n - t_{n-1}$

$t_{n-1}$  je počáteční čas daného úseku (s)

$t_n$  je konečný čas daného úseku (s)

$p_0(t)$  je okamžitý příkon (W).

Jelikož se naměřená data skládají ze vzorků, jedná se v tomto případě o diskrétní funkci a výpočet lze zjednodušit na aritmetický průměr:

$$P_{0n} = \frac{\sum_{i=1}^{m_n} P_{0i}}{m_n} \quad (1.4)$$

kde:  $P_{0n}$  je střední příkon spotřebiče v daném časovém úseku (W)

$P_{0i}$  je příkon  $i$ -tého vzorku (W)

$m_n$  je počet vzorků v daném časovém úseku (-).

Střední příkony v úsecích II. a IV. umožňují výpočet spotřeby zařízení při libovolně dlouhém časovém úseku použití. Délka trvání přechodných jevů, reprezentovaných úseky I. a III., je však v řádu milisekund, či sekund. Aby byly zohledněny příkony při přechodných jevech, tyto úseky se poměrově započítají do hodnoty příkonu v první a poslední minutě provozu spotřebiče:

$$P_{0on} = \frac{T_1 \cdot P_{01} + (60 - T_1) \cdot P_{02}}{60} \quad (1.5)$$

$$P_{0off} = \frac{(60-T_3) \cdot P_{02} + T_3 \cdot P_{03}}{60} \quad (1.6)$$

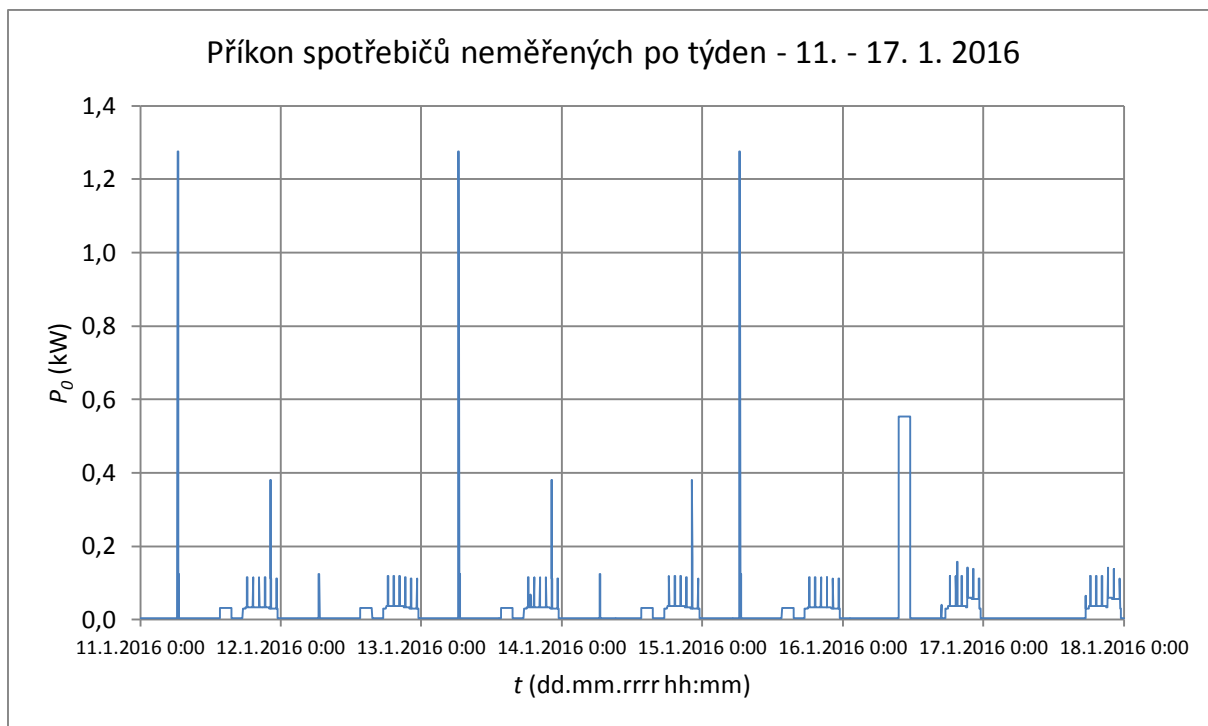
kde:  $P_{0on}$  je průměrný příkon po dobu 60 s od zapnutí zařízení (W)  
 $T_1$  je doba trvání úseku I. – přechodného jevu při zapnutí (s)  
 $P_{01}$  je střední příkon v úseku I. – při přechodném jevu při zapnutí (W)  
 $P_{02}$  je střední příkon v úseku II. – při provozu (W)  
 $P_{0off}$  je průměrný příkon po dobu 60 s před vypnutím zařízení (W)  
 $T_3$  je doba trvání úseku III. – přechodného jevu při vypnutí (s)  
 $P_{03}$  je střední příkon v úseku III. – při přechodném jevu při vypnutí (W).

Týdenní spínací schéma pro daný spotřebič je složeno po minutách z hodnot  $P_{0on}$ ,  $P_{02}$ ,  $P_{0off}$ ,  $P_{04}$ . Do týdenního spínacího schématu jsou příkony zadány v kW. Četnost použití těchto zařízení je zaznamenána v tab. 1-2.

tab. 1-2 Přehled spotřebičů neměřených v týdenním režimu

spotřebič	jmenovitý příkon $P_n$ (W)	počet spotřebičů	počet dní v týdnu	počet minut denně	popis
Fén	1300	1	3	8	Po, St, Pá; vždy ráno před odchodem do práce
Hi-Fi	35	1	7	120	denně po příchodu z práce, školy, také o víkendech
Mixér	85	1	3	1	zpravidla 3x týdně - 2x o víkendu, 1x během pracovního dne
Mobilní telefon	5	4	7	120	Všichni čtyři členové domácnosti, každý den k večeru 2 hodiny nabíjení
Sekačka na trávu	600	1	1	120	1x týdně údržba zahrady (léto), lze brát také jako elektrickou pilu (zima), příp. jiné elektrické nářadí
Tablet	10	1	4	180	4x týdně 3 hodiny nabíjení, vždy k večeru
Tiskárna	500	1	3	2	Po, St, Čt; vždy večer tisk dokumentů
Žárovka klasická	75	1	7	30	souhrnná spotřeba osvětlení na chodbách, v koupelně apod.
Žárovka úsporná	7	4	7	360	souhrnná spotřeba osvětlení v obývacím pokoji, kuchyni a dětském pokoji
Žehlička na vlasy	140	1	6	8	Po-Pá, vždy ráno před odchodem do školy, také v So večer

Po sestavení týdenního spínacího schématu lze vykreslit graf předpokládaného příkonu spotřebičů neměřených po dobu týdne v čase, viz obr. 1-7.



obr. 1-7 Graf příkonu všech spotřebičů neměřených po dobu týdne v čase

Z grafu vyplývá, že skupina spotřebičů neměřených během celého týdne má mnohem nižší požadavky na příkon. Nejvýraznějším odběrem je fén s příkonem 1,3 kW, používaný třikrát týdně ráno po dobu osmi minut. Významně se projeví také použití elektrické sekačky, případně jiného elektrického nářadí, kdy se předpokládá provoz po dobu dvou hodin v sobotu dopoledne nebo jiný, poměrný k příkonu stroje. V některé pracovní dny je využita tiskárna, jejíž příkon tvoří špičku ve večerním bloku. Tento pravidelný blok je složen převážně z energetických nároků osvětlení a nabíjení přenosných zařízení. Ostatní zařízení se v týdenním průběhu příkonu projevují jen marginálně.

### 1.5 Určení ztrát v domovním rozvodu a spotřeby neměřených zařízení

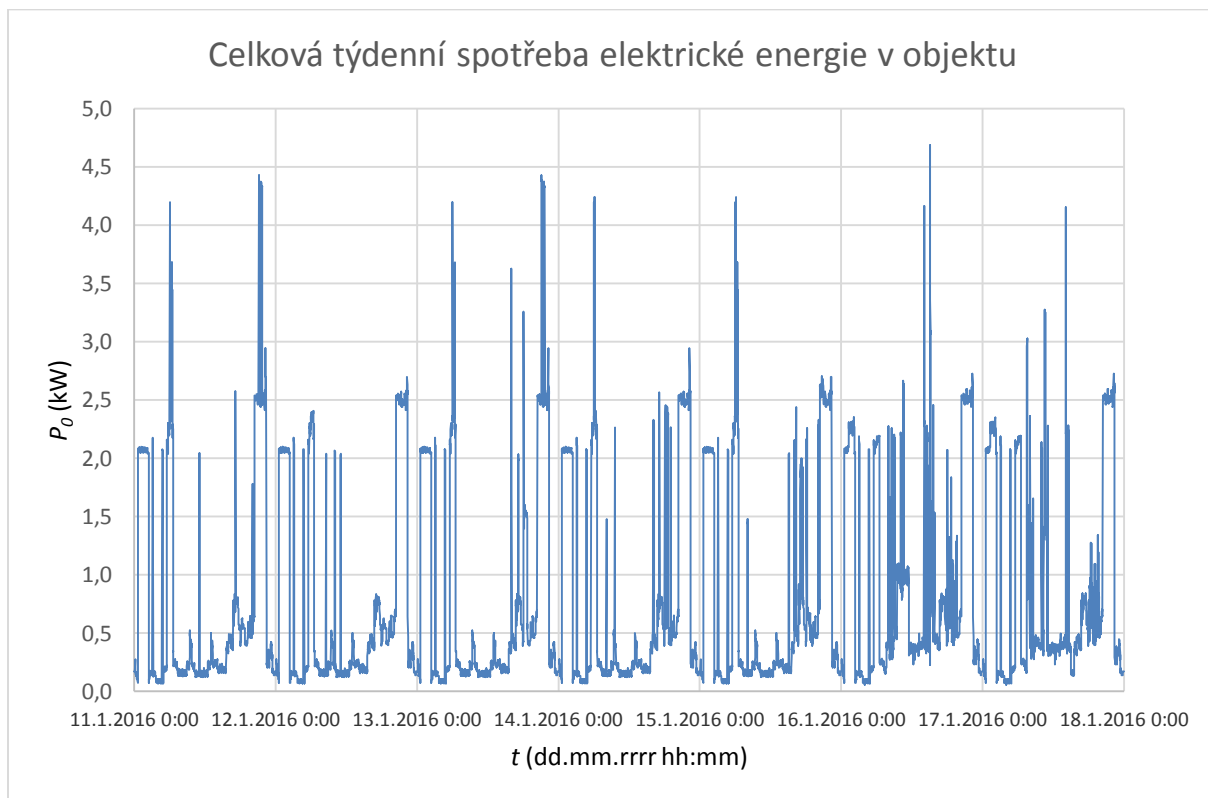
Rozdílem mezi naměřenou celkovou spotřebou elektrické energie za týden a kumulovanou spotřebou všech měřených zařízení za týden je energie, kterou jsou hrazeny ztráty v domovním rozvodu a kterou spotřebovávají neměřené spotřebiče. Jediným známým spotřebičem, který nebyl měřen, je domovní zvonek. Použití zvonku je velmi nepravidelné a jeho spotřeba není významná pro návrh.

Energie pro krytí ztrát a neměřenou spotřebu tvoří méně než 1% celkové spotřebované energie za týden. Pro zjednodušení se neuvažuje závislost ztrát na příkonu a spotřeba je v návrhu rovnoměrně rozdělena do celého týdne. Vliv na špičku odběru je zanedbatelný.

### 1.6 Analýza celkové týdenní spotřeby elektrické energie

Pro správný návrh systému napájení s akumulací elektrické energie jsou důležité tři údaje o spotřebě elektrické energie. Náleží zde:

- týdenní spotřeba elektrické energie,
- maximální denní spotřeba elektrické energie,
- maximální okamžitý příkon. [3]



**obr. 1-8 Graf celkového odebíraného příkonu zařízeními v objektu během týdne**

Na obr. 1-8 je znázorněn průběh celkového odebraného příkonu v čase. Celková spotřebovaná energie se obecně vypočítá jako plocha pod vyobrazenou křivkou:

$$E = \frac{\int p_0(t)dt}{3600} \quad (1.7)$$

kde:  $E$  je celková spotřebovaná energie (kWh)  
 $p_0(t)$  je okamžitý příkon (W).

Jelikož se týdenní spínací schéma skládá z minutových příkonů, pro výpočty celkové spotřebované energie za den a celkové spotřebované energie za týden lze použít vzorce:

$$P_{0Cr} = \sum_{j=1}^N P_{0rzj} \quad (1.8)$$

$$E_{dk} = \sum_{r=1440 \cdot (k-1) + 1}^{1440 \cdot k} (P_{0Cr} \cdot T) \quad (1.9)$$

$$E_t = \sum_{k=1}^{N_t} E_{dk} \quad (1.10)$$

kde:  $P_{0Cr}$  je celkový příkon všech zařízení v  $r$ -té minutě (kW)

$P_{0rzj}$  je příkon  $j$ -tého druhu zařízení v  $r$ -té minutě (kW)

$N$  je počet druhů spotřebičů navýšený o 1 pro zohlednění ztrát (-);  $N = 25$

$E_{dk}$  je celková spotřebovaná energie za  $k$ -tý den (kWh)

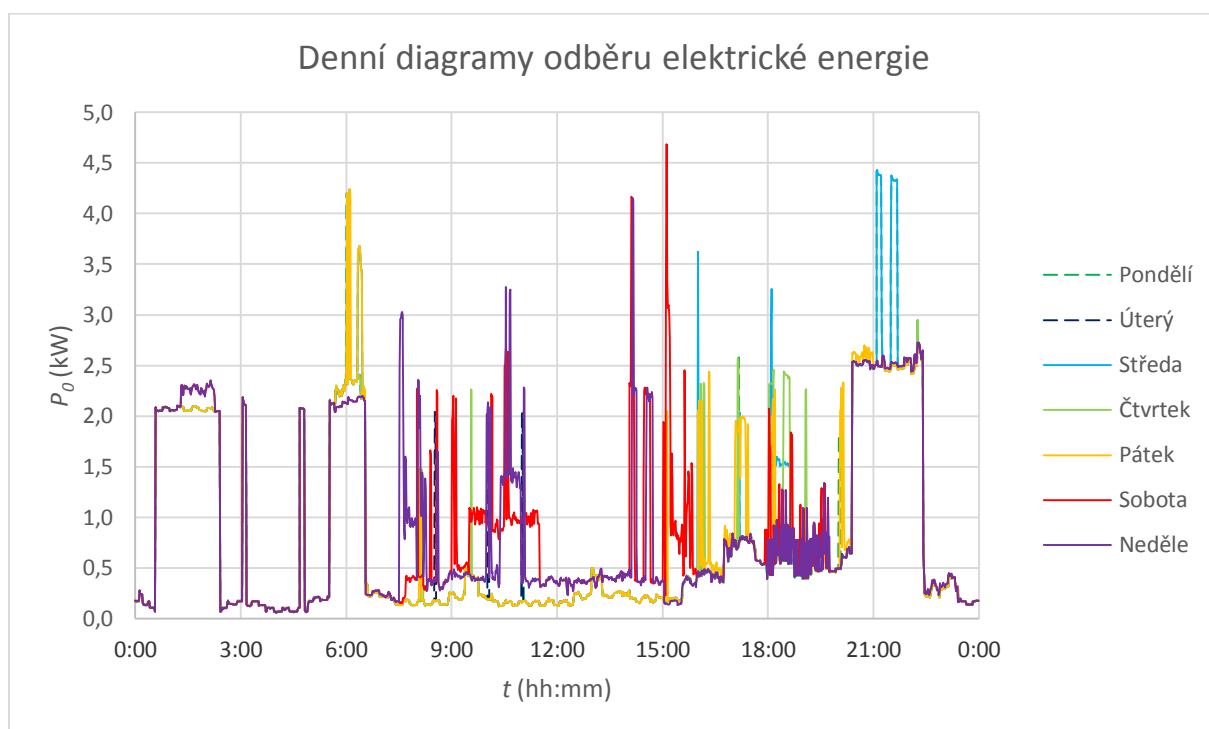
$k$  je číslo dne v týdnu (-)

$N_t$  je počet dní v týdnu (-);  $N_t = 7$

$T$  je perioda vzorků (h);  $T = 1 \text{ min} = \frac{1}{60} \text{ h}$

$E_t$  je celková spotřebovaná energie za týden (kWh).

Hodnotu celkové spotřebované energie za týden  $E_t$  není třeba počítat, byla totiž změřena:  $E_t = 134,3 \text{ kWh}$ . Dále se stanoví maximální denní spotřeba elektrické energie.



obr. 1-9 Denní diagramy odebíraného příkonu v objektu

Hledá se takové číslo dne  $k$ , při kterém je hodnota  $E_{dk}$  z rovnice (1.9) v maximu. Podmínka platí pro 6. den v týdnu – sobotu. Výsledek odpovídá předpokladu, že v sobotu jsou členové domácnosti přítomní prakticky po celý den, probíhá úklid a údržba domu a připravuje se oproti pracovnímu dni navíc oběd. Taktéž z průběhů na obr. 1-9 lze odečíst, že sobotní průběh příkonu často vystupuje nad úroveň ostatních denních diagramů. Přehled spotřebované energie za jednotlivé dny v týdnu je přiložen v tab. 1-3.

Maximální okamžitý příkon se určí obdobným způsobem. Hledá se takové číslo  $r$ , při kterém je hodnota  $P_{0Cr}$  z rovnice (1.8) rovna svému maximu. Výsledné číslo  $r = 8108$  znamená, že největší požadavek na dodávku energie nastává v sobotu v čase 15:07. Maximum příkonu spotřebičů se tedy rovná 4,69 kW. Tuto hodnotu lze snadno orientačně překontrolovat podle průběhů na obr. 1-8 a na obr. 1-9.



tab. 1-3 Přehled denní spotřeby elektrické energie v týdnu a celková spotřeba

den v týdnu $k$ (-)	den	spotřeba za den $E_{dk}$ (kWh)
1	pondělí	18,07
2	úterý	17,23
3	středa	18,70
4	čtvrtek	18,16
5	pátek	18,54
6	sobota	22,32
7	neděle	21,29
spotřeba za týden $E_t$ (kWh)		134,3

Pro přehlednost jsou v tab. 1-4 uvedeny všechny tři základní parametry pro návrh systému napájení.

tab. 1-4 Základní parametry pro návrh systému napájení

parametr	hodnota
Celková spotřebovaná energie za týden $E_t$ (kWh)	134,3
Maximální spotřebovaná energie za den $E_{dmax}$ (kWh)	22,32
Maximální okamžitý příkon $P_{0Cmax}$ (kW)	4,69

## 1.7 Celková roční spotřeba elektrické energie, sezónnost spotřeby

Týdenní měření spotřeby probíhalo v zimním období, kdy bývá spotřeba elektrické energie v porovnání s ostatními ročními obdobími nejvyšší. Tato skutečnost je dána zejména zvýšenými požadavky na vytápění a ohřev vody a delší dobou užívání osvětlení. Měření celkové spotřeby elektrické energie během týdne bylo provedeno již na podzim a také posléze na jaře. K měření v letním týdnu nedošlo, uvažovaná týdenní spotřeba energie v létě  $E_{tl}$  v tab. 1-5 je tedy odhadem dle působení sezónních vlivů.

tab. 1-5 Přehled spotřeby elektrické energie za jednotlivá roční období, celková roční spotřeba

roční období	$o$ (-)	$E_{to}$ (kWh)	$E_{to}/E_{tz}$ (%)	$E_o$ (kWh)
zima	z	134,3	100	1746
podzim	p	121,6	90,5	1546
jaro	j	105,2	78,3	1383
léto	l	92,68	69	1245
celkem za rok $E_r$ (kWh)				5920

Poměr týdenních spotřeb energie  $E_{to}/E_{tz}$  ukazuje, jaké spotřeby je dosaženo za týden v daném ročním období vůči spotřebě za zimní týden. Předpokládá se, že v letním týdnu bude spotřeba téměř

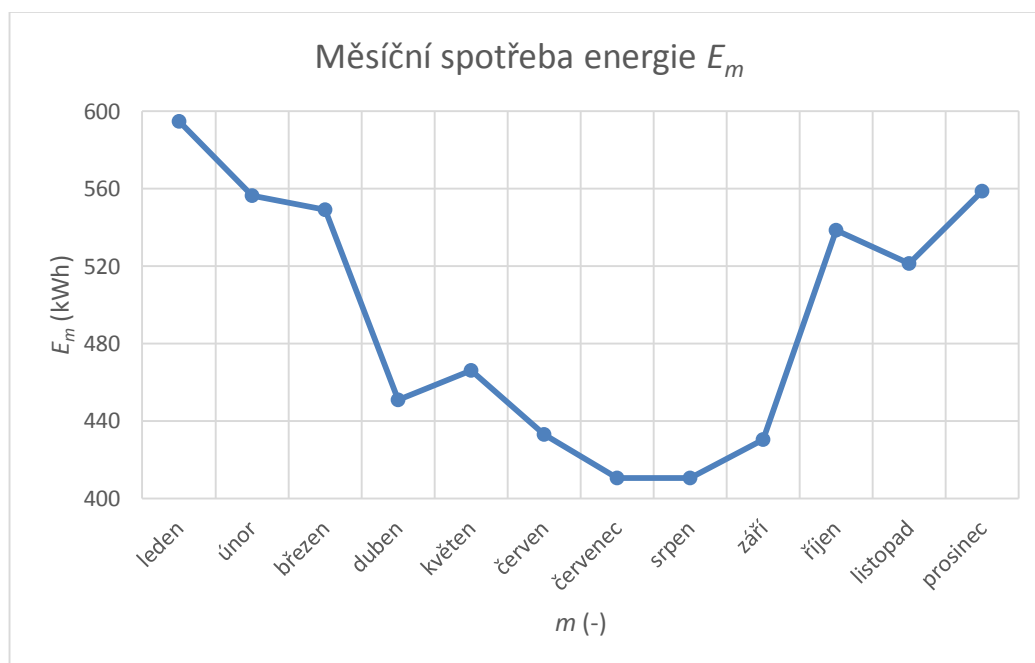
o třetinu nižší oproti zimnímu týdnu. Součtu spotřeby energie za všechna čtyři roční období odpovídá roční spotřeba elektrické energie  $E_r$ , která dosahuje 5,92 MWh.

Ve výpočtech nejsou uvažovány rozdíly ve spotřebě dané dnem v týdnu, jelikož pracovní dny a víkendy jsou v každém měsíci a každém roce rozděleny jinak. Kalkulace potřebné energie probíhá s denním průměrem. V tab. 1-5 vypočtená hodnota spotřeby elektrické energie za roční období  $E_o$  se získá řešením rovnice (1.11), na obr. 1-10 znázorněná spotřeba elektrické energie za měsíc  $E_m$  pak pomocí vzorce v (1.12).

$$E_o = \frac{E_{to} \cdot N_o}{N_t} \quad (1.11)$$

$$E_m = \frac{E_{to1} \cdot N_{m1} + E_{to2} \cdot N_{m2}}{N_t} \quad (1.12)$$

kde:  $E_o$  je celková spotřebovaná energie všemi zařízeními za roční období  $o$  (kWh)  
 $E_{to}$  je celková spotřebovaná energie všemi zařízeními za týden v ročním období  $o$  (kWh)  
 $N_o$  je počet dní v ročním období  $o$  (-)  
 $N_t$  je počet dní v týdnu (-);  $N_t = 7$   
 $E_{to1}$  je celková spotřebovaná energie všemi zařízeními za týden v ročním období, ve kterém měsíc  $m$  začíná (kWh)  
 $N_{m1}$  je počet dní v měsíci  $m$ , kdy trvá roční období, ve kterém měsíc  $m$  začíná (-)  
 $E_{to2}$  je celková spotřebovaná energie všemi zařízeními za týden v ročním období, ve kterém měsíc  $m$  končí, pokud se roční období  $o$  v měsíci  $m$  změnilo (kWh)  
 $N_{m2}$  je počet dní v měsíci  $m$ , kdy trvá roční období, ve kterém měsíc  $m$  končí, pokud se roční období  $o$  v měsíci  $m$  změnilo (-). Pokud se  $o$  nezměnilo,  $N_{m2} = 0$ .



obr. 1-10 Graf vývoje měsíční spotřeby energie v průběhu roku

Graf měsíční spotřeby energie na obr. 1-10 potvrzuje, že největší dodávku elektrické energie vyžaduje měsíc leden, ve kterém probíhalo měření. Nejmenší nároky mají letní měsíce červenec a srpen, kdy se na druhou stranu dá očekávat největší výroba elektrické energie z fotovoltaických panelů.

## **1.8 Možnosti úspor elektrické energie v objektu**

Jedním z předpokladů návrhu energetické koncepce je zachování přijatelného komfortu obyvatel rodinného domu. Možnosti úspor se tímto omezují, stále je však možné nalézt příležitosti, jak nezanedbatelně snížit spotřebu elektrické energie.

### **1.8.1 Plazmová televize**

Měřený přístroj má jmenovitý příkon 300 W, naměřený příkon dosahoval v minutovém maximu 290 W. Obecně mají plazmové televize vyšší spotřebu než srovnatelné přístroje s LED technologií. [4], [5] Pro srovnání, LED televize s úhlopříčkou o velikosti 55 palců a třídou energetické účinnosti A++ dosahuje za provozu ve standardním režimu příkonu pouze 61 W, při náročnějším režimu pak příkonu 101 W [6]. Volbou přístroje s menší úhlopříčkou lze dále snížit energetickou náročnost. Měřený přístroj je navíc velmi neúsporný v pohotovostním režimu (stand-by), byl mu naměřen příkon až 60 W. V tomto režimu má současný model LED televizoru příkon pouze 0,5 W. Způsobem, jak snížit spotřebu elektrické energie u stávající televize, může být zapojení spotřebiče do pohyblivého přívodu s vypínačem. Vypínání spotřebiče manuálně a nemožnost zapnutí prostřednictvím dálkového ovládání ovšem znatelně omezují komfort uživatelů. Při současném zohlednění úspory energie při provozu televize lze doporučit pořízení aktuálního modelu LED televize s přihlédnutím k co nejvyšší třídě energetické účinnosti.

### **1.8.2 Světelné zdroje**

V objektu se využívají kompaktní žárovky ve svítidlech, které jsou provozovány po dlouhou dobu. V málo využívaných místnostech, kde se doba svícení pohybuje denně v jednotkách minut, jsou zdrojem světla halogenové žárovky, ve dvou svítidlech se stále nacházejí klasické žárovky. Použitím LED žárovek lze dosáhnout úspory energie, a to zejména v koupelně s WC. V tomto prostoru se užívají halogenové žárovky, jelikož na rozdíl od kompaktních žárovek poskytují ihned po zapnutí sto procent světelného toku. Stejnou vlastností disponují i LED zdroje, avšak při násobně vyšším měrném výkonu. Výrazně delší životnost LED zdroje ospravedlní vyšší pořizovací cenu. Doporučuje se zvážit výměnu halogenových žárovek za LED žárovky. Kompaktní žárovky je taktéž vhodné vyměnit, úspora energie však není tak výrazná, a tak lze připustit výměnu až po skončení životnosti stávajícího světelného zdroje. [7]

## 2 Analýza proudových profilů vybraných spotřebičů

### 2.1 Kategorie spotřebičů

Nedílnou součástí navrhovaného systému napájení z obnovitelných zdrojů je systém řízení spotřeby. Pro možnost optimalizace provozu napájecího systému, která je blíže popsána v kap. 3.4, se elektrická zařízení v objektu rozdělují do čtyř kategorií:

- kategorie I – spotřebiče, jejichž chod nelze přerušit ani odložit,
- kategorie II – spotřebiče, jejichž chod lze přerušit, avšak nelze odložit,
- kategorie III – spotřebiče, jejichž chod nelze přerušit, avšak lze odložit,
- kategorie IV – spotřebiče, jejichž chod lze přerušit nebo odložit.

tab. 2-1 Kategorie spotřebičů v objektu

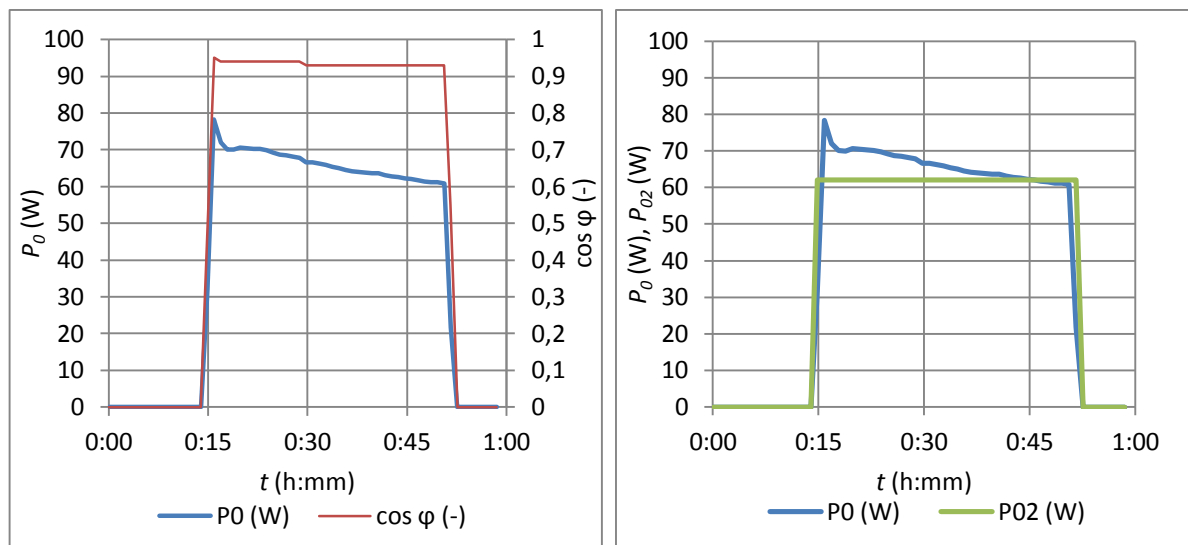
Kategorie I	Kategorie II	Kategorie III	Kategorie IV
Elektrická varná deska	Plynový kotel	Elektrická trouba	Mobilní telefon
Mikrovlnná trouba	Elektrický bojler	Automatická pračka	Plazmová televize
Rychlovarná konvice		Myčka nádobí	Vysavač
Mixér		Počítač	Žehlička
Chladnička		Tiskárna	Hi-Fi
Mraznička		LCD monitor	Sekačka na trávu
Žárovka klasická			Tablet
Žárovka úsporná			
Fén			
Žehlička na vlasy			

Součástí analýzy je také znázornění zjednodušené zátěžové křivky daného spotřebiče, se kterou pracuje řídicí systém. Vzhledem k faktu, že změřený proudový profil je ovlivněn kvalitou napětí z distribuční sítě, zatímco ostrovní měnič dokáže změny napětí účinně vyrovnat a udržet napětí na jmenovité hodnotě, se jeví jako vhodnější analyzovat odběrovou křivku.

### 2.2 Spotřebič kategorie I - chladnička

Do skupiny zařízení, jejichž funkci není možné ovlivňovat z důvodu optimalizace spotřeby, patří zejména zařízení pro uchovávání potravin a přípravu stravy s výjimkou v podobě elektrické trouby, dále osvětlení a také přístroje k úpravě účesu. Analýza se provede pro chladničku.

Provozní charakter chladničky je do značné míry cyklický. Ovšem přes den, nejčastěji v době přípravy oběda nebo večeře, dochází k otevírání dveří a vykládání, případně vkládání potravin. Následkem oteplení vnitřního prostoru se zkracuje doba do opětovného sepnutí a zároveň se může prodlužovat doba trvání chodu. Cykly proto nejsou totožné a různý může být i jejich počet za den. Typický průběh cyklu je zachycen na obr. 2-1 vlevo:



obr. 2-1 Odběrový profil chladničky (vlevo), zjednodušený odběrový profil (vpravo)

Po sepnutí v čase 0:15 kompresor chladničky odebírá až 80 W, načež v průběhu chodu příkon přibližně lineárně klesá k úrovni 60 W, kdy se obvod rozpne – je dosaženo cílové teploty. Účinník se udržuje v rozmezí 0,93 až 0,95 ind.

Vyobrazený odběrový profil je pro zpracování řídicí jednotkou příliš složitý. Používá se proto střední příkon, podobně jako v kap. 1.4, který se vypočítá dle vzorce (1.4). Jelikož je příkon lednice měřen v minutovém intervalu, celý průběh spadá do oblasti provozu. Střední příkon při provozu  $P_{02}$  představuje předpokládanou hodnotu odběru v každé minutě provozu zařízení během týdne a slouží při skládání spínacího schématu uvnitř systému řízení. Tímto způsobem se sestaví zjednodušená odběrová křivka, zobrazená na obr. 2-1 vpravo. Odebraná energie za celý týden musí být totožná, platí vzorec (2.1). Rovnost neplatí pro jednotlivé úseky provozu, zpravidla se však plochy pod křivkami příliš neliší, což lze ověřit vizuálně na obr. 2-1 vpravo nebo pomocí vzorce (2.1).

$$\int_0^{t_{mt}} p_0(t) dt = P_{02} \cdot (\sum_{c=1}^{N_c} (t_{coff} - t_{con})) \quad (2.1)$$

kde:  $t_{mt}$  je počet minut v týdnu (-);  $t_{mt} = 10080$

$p_0(t)$  je okamžitý příkon (W)

$P_{02}$  je střední příkon při provozu (W)

$c$  je číslo cyklu (-)

$N_c$  je počet cyklů daného spotřebiče za týden (-)

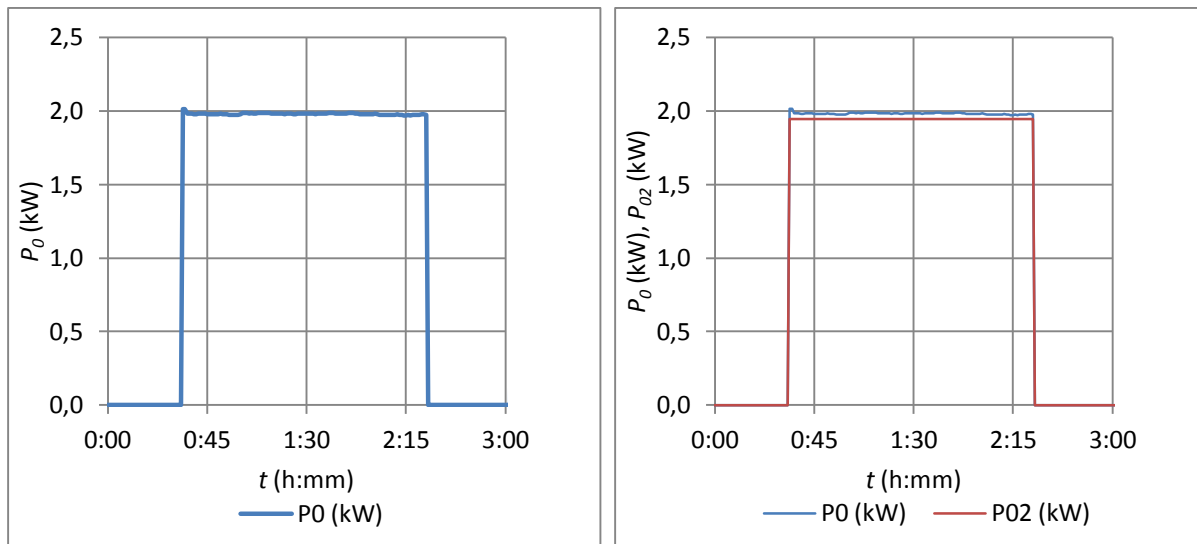
$t_{coff}$  je minuta v týdnu, kdy je daný spotřebič vypnut při cyklu  $c$  (-)

$t_{con}$  je minuta v týdnu, kdy je daný spotřebič zapnut při cyklu  $c$  (-)

## 2.3 Spotřebič kategorie II – elektrický bojler

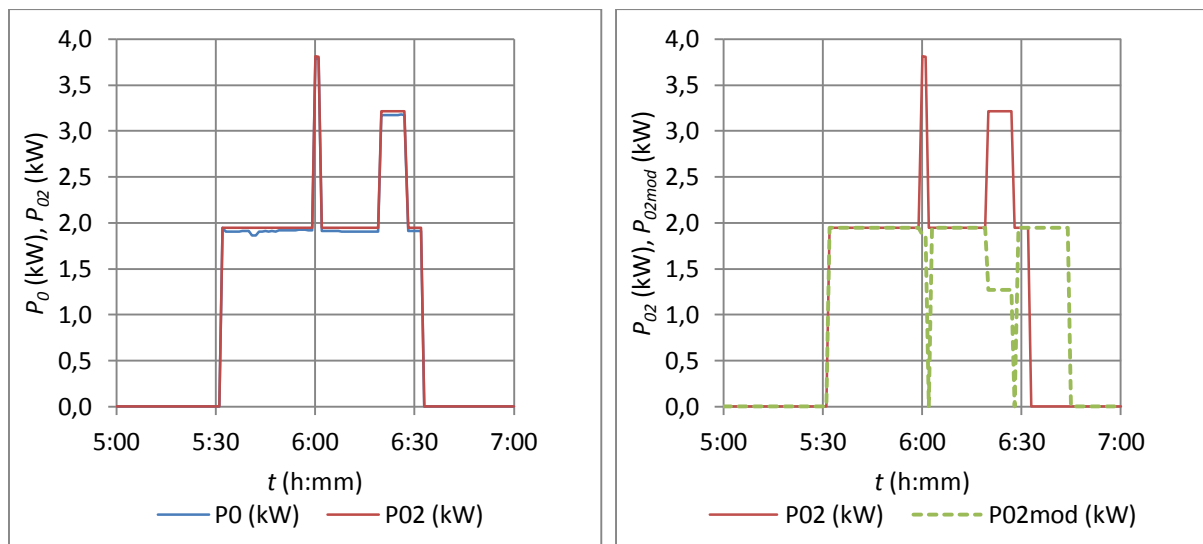
Do kategorie II spadají elektrická zařízení, jejichž krátkodobá indisponibilita neovlivní chod domácnosti. Při požadavku na zapnutí těchto spotřebičů však platí, že musejí být ihned spuštěny. Podrobněji jsou navrhovaná pravidla pro chod definována v návrhu systému řízení v kap. 3.4.

Elektrický bojler má téměř ideální charakteristiku odběru, když se jeho příkon po celou dobu provozu drží zhruba konstantní s výkyvy v řádu jednotek procent. Účinník nebyl pro tento spotřebič měřen, předpokládá se však, že se jedná o čistou odporovou zátěž, účinník je tedy roven jedné. Pro získání zjednodušené charakteristiky se opět použije výpočet středního příkonu při provozu  $P_{02}$  podle (1.4).



obr. 2-2 Odběrový profil elektrického bojleru (vlevo), zjednodušený odběrový profil (vpravo)

Možnosti při řízení spotřeby jsou znázorněny na následujícím příkladu na obr. 2-3. V pracovní dny vždy okolo 6:00 bývá zapnuta rychlovarná konvice a zhruba 20 minut poté bývá uveden do provozu fén. Současně již je v provozu elektrický bojler a také další spotřebiče, jejichž souhrnný příkon se v daném časovém úseku pohybuje od 200 W do 500 W a které pro názornost nejsou zahrnuty v grafu.



obr. 2-3 Ukázka možnosti řízení spotřeby přerušením chodu elektrického bojleru

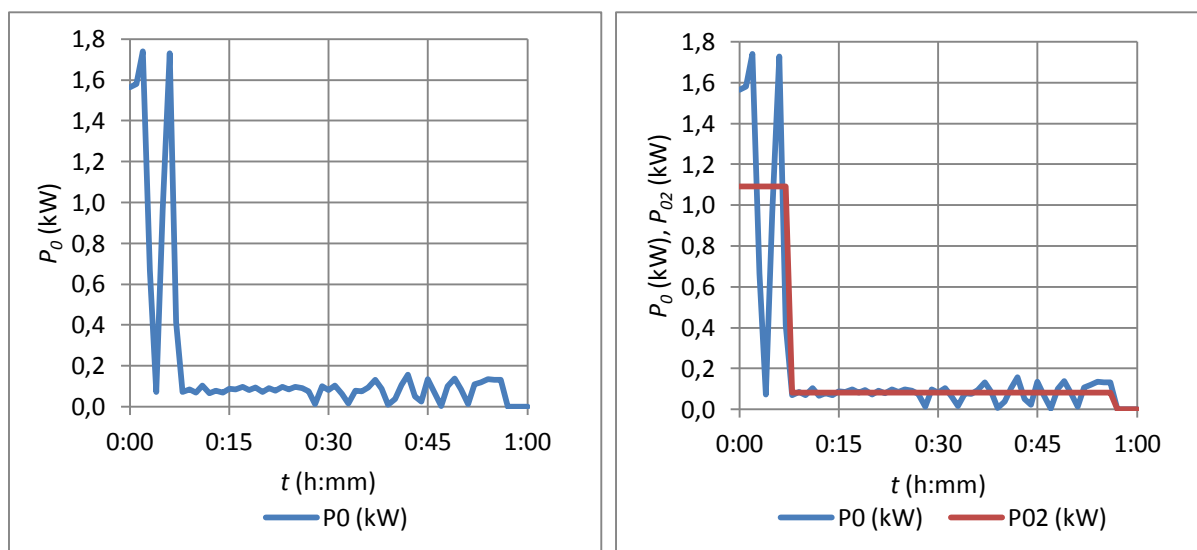
Jelikož při sepnutí konvice nebo fénu kontrolér zaznamená možnost nadlimitního odběru dle skladby odběrových profilů, aktivuje regulaci spotřeby k prodloužení životnosti akumulátorů.

Elektrický bojler má jeden z největších instalovaných výkonů v domácnosti a především krátkodobý výpadek jeho funkce nezpůsobí nedostupnost teplé vody, jelikož voda má vysokou akumulaci schopnost. Pro tyto vlastnosti lze elektrický bojler účinně použít k omezení okamžitého příkonu po dobu několika minut. Po odpojení spotřebičů kontrolér vyčká minutu, zda nedojde k opětovnému zapnutí. Následně je opět uveden do provozu elektrický bojler.

## 2.4 Spotřebič kategorie III – automatická pračka

V domácnosti lze nalézt zařízení, jejichž neočekávané vypnutí během chodu může způsobit nežádoucí jevy, např. vytečení vody z pračky nebo myčky nádobí, ztrátu dat při náhlém vypnutí osobního počítače, či znehodnocení dosavadní vykonané práce – nedopečení pokrmu v troubě, nedostatečnou čistotu nádobí z myčky apod. U spotřebičů kategorie III nesmí být přerušen chod, ovšem zpravidla nevádí odložení startu, které lze využít pro optimalizaci příkonu v čase.

Příkon automatické pračky byl měřen minutově. K měření účinníku nedošlo, avšak z průběhu cyklu lze jeho průběh odhadnout. Po zapnutí pracího cyklu probíhá čerpání vody a její ohřívání na zvolenou teplotu. Ohřev je energeticky nejnáročnější, příkon během nahřívání vody stoupne až na 1750 W, přičemž se jedná o čistě odporovou zátěž, tudíž účinník je blízký jedné. Během dalších fází pracího programu je již příkon o řád nižší, a to včetně konečného ždímání – motor a čerpadlo pračky odebírají příkon průměrně 83 W. Tyto stroje pracují s účinníkem horším než 0,95, avšak automatické pračky zpravidla jsou vybaveny kompenzačními kondenzátory. Vliv na síť je tímto velmi omezen.

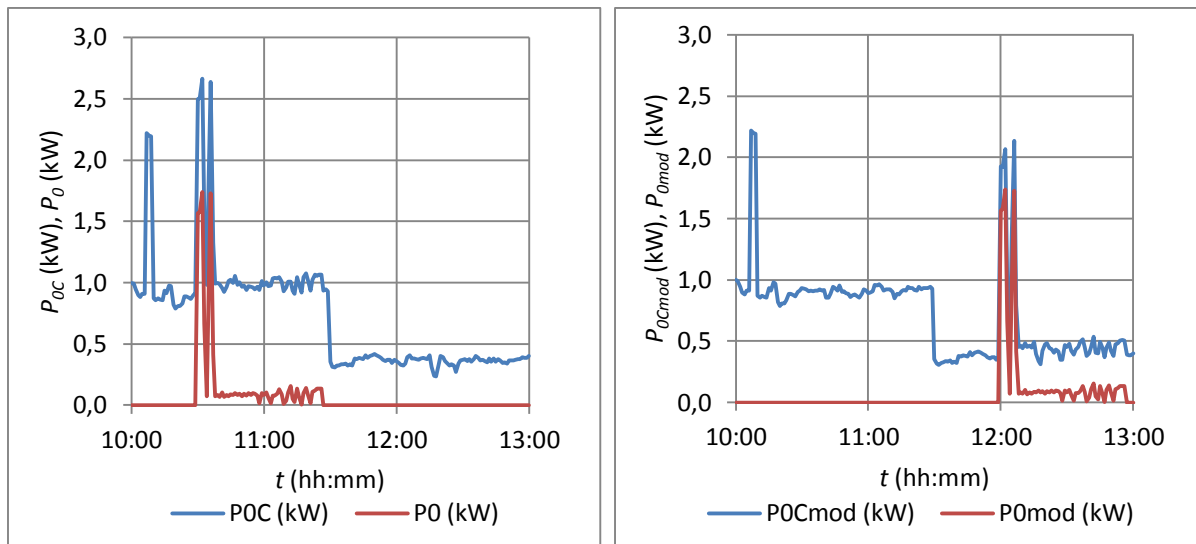


obr. 2-4 Odběrový profil automatické pračky (vlevo), zjednodušený odběrový profil (vpravo)

Prací cyklus pračky je pro zjednodušený odběrový diagram rozdělen do dvou úseků provozu, kde každému úseku je přiřazen jiný příkon. Počítá se  $P_{02a}$  – příkon při ohřevu, a  $P_{02b}$  – příkon v ostatních fázích cyklu. Toto rozdělení více odpovídá skutečnému odběru automatické pračky, než použití jediné průměrné hodnoty.

Na obr. 2-5 je znázorněna funkce odložení zapnutí spotřebiče kategorie III na skutečném odběrovém diagramu domácnosti. Kontrolér vyhodnotí požadavek na zapnutí pračky v sobotu v 10:30

jako nevhodný, jelikož se v tuto dobu připravuje oběd a taktéž bývají v provozu stroje pro údržbu a domácí práce. Spuštění pracího cyklu se proto odloží na 12:00, po obědě totiž následuje chvíle odpočinku a neprovozují se náročnější spotřebiče. Dochází k lepšímu rozložení příkonu v čase a ke snížení špičkového odběru energie.



obr. 2-5 Ukázka možnosti řízení spotřeby odložením startu automatické pračky

## 2.5 Spotřebič kategorie IV – plazmová televize

Mezi spotřebiče kategorie IV se řadí většina zábavní elektroniky a některá zařízení pro vykonávání domácích prací. Zařízení kategorie IV lze vypnout kdykoli, nicméně ve valné většině případů se tak děje na úkor komfortu uživatele, jelikož tato zařízení aktivně využívá. Proto má být kontrolér nastaven tak, že nejprve hledá možnost redukce příkonu zařízení z kategorie II nebo III, až poté přistupuje k regulaci spotřebičů kategorie IV. K analýze byla v této kategorii vybrána plazmová televize.

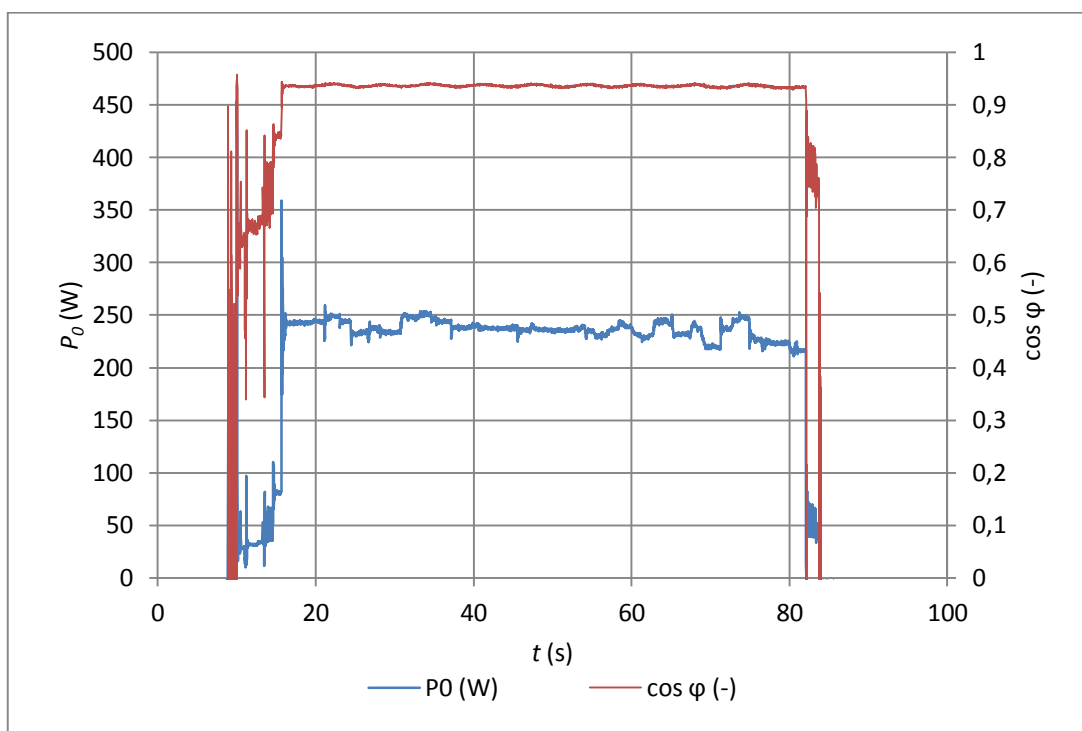
Plazmová televize byla měřena minutově, pro ověření výsledků proběhlo taktéž měření po dobu 100 sekund s periodou vzorkování 0,02 s. V analýze jsou využity výsledky obou měření za postupu popsaného v kap. 1.4 a za použití vzorce (2.1).

Na obr. 2-6 je vyobrazen odběrový diagram získaný z měření spínacích dějů. Tento diagram se rozdělí do časových úseků, jak je znázorněno již na obr. 1-6. V první fázi, během 10. až 18. sekundy měření, probíhá zapnutí, inicializace televize. Pak nastává rozsvícení obrazovky a standardní provoz až do 83. sekundy měření. Po stisknutí vypínacího tlačítka televizor přejde během přibližně desetiny sekundy do režimu stand-by. V tomto režimu setrvá asi 2 sekundy, než dojde k odpojení spotřebiče od sítě.

Příkon plazmového televizoru při provozu kolísá během měření mezi hodnotami 215 a 255 W. Jak vidno z dlouhodobého měření na obr. 2-7 vlevo, minutové příkony mají mnohem širší rozptyl hodnot. V týdnu naměřené maximum je 290 W, minimum za provozu pak pouhých 130 W. Tento jev

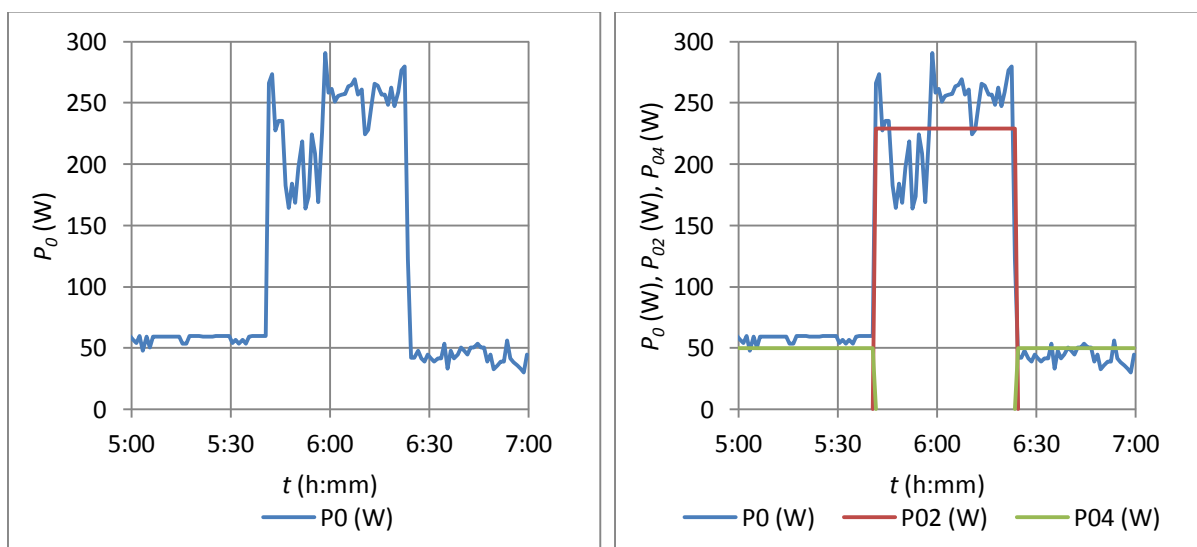


vychází z použité technologie, kdy u plazmových televizí je zdrojem světla samotný obrazový bod, a tak při světlých scénách je potřebné všechny body rozsvítit, zatímco u tmavých scén body pohasnou. [4]



obr. 2-6 Odběrový diagram plazmové televize při měření spínacích dějů

Příkon v režimu stand-by měl v čase také kolísavý charakter a vykázal hodnoty v rozmezí od 40 W do 70 W. Během týdenního měření byly zjištěny i poklesy na 24 W, nicméně po většinu týdne se stand-by příkon pohyboval nad 50 W. Výpočtem středního příkonu v pohotovostním režimu  $P_{04}$  je zjištěno, že střední hodnota je právě 50 W. Pro doplnění, střední příkon za provozu  $P_{02}$  má hodnotu 229 W.



obr. 2-7 Odběrový profil plazmového televizoru (vlevo), zjednodušený odběrový profil (vpravo)

Při měření spínacích dějů byl sledován také účinník. Za provozu se účinník konstantně drží na hodnotě 0,93. V pohotovostním režimu kolísá s příkonem, hodnoty se pohybují od 0,7 do 0,85.

### 3 Návrh energetické koncepce

Nová energetická koncepce posuzovaného rodinného domu je založena na využití slunečního záření jako hlavního zdroje energie. Navrhovaný systém napájení je zvolen jako tzv. hybridní, tedy schopný samostatného, ostrovního provozu a s možností připojení do veřejné distribuční sítě. Činí se tak jednak z důvodu využití již vybudované infrastruktury a jednak vzhledem k tomu, že zajištění energetické soběstačnosti jen pomocí fotovoltaiky, a to v průběhu celého kalendářního roku, by bylo velmi nákladné.

Předkládaná práce porovnává dva návrhy energetické koncepce. Základní návrh počítá se soběstačností ve vybraných jarních a letních měsících při uvažování stávající spotřeby. Přebytky vyrobené elektrické energie jsou ukládány do akumulátorové baterie, využívá se také akumulace do teplé vody prostřednictvím elektrického bojleru, případně dochází k prodeji do distribuční sítě. Běžná výkupní cena této nespotřebované energie z fotovoltaiky se pohybuje pouze v řádu desítek haléřů za kilowatthodinu [8], předpokládá se tedy, že je výhodnější dimenzovat výkon elektrárny výhradně na energetické potřeby domácnosti.

Rozšířený návrh pak uvažuje s maximalizací výnosu ze sluneční energie. Vznikající výrazné přebytky energie v jarních a letních měsících poslouží jako základ pro další ekologizaci a optimalizaci provozu domácnosti.

V dlouhodobém plánu vlastníka objektu bylo pořízení klimatizační jednotky. V dnešní době lze doporučit spíše investici do energeticky mnohem efektivnějšího tepelného čerpadla kombinovaného s funkcí chlazení. Při volbě správného modelu tepelného čerpadla je možné nahradit stávající vytápění plynovým kotlem, čímž by došlo k omezení lokálních emisí skleníkových plynů, a dokonce i stávající elektrický bojler pro ohřev teplé vody.

Druhým uvažovaným krokem k ekologizaci domácnosti je pořízení elektromobilu. Vůz disponující možností bidirektivního nabíjení může v systému zastat funkci druhého akumulátoru a vypomoci v případě nedostatku energie v domácím úložišti. Rozšíření akumulačních prostředků připojením elektromobilu by proběhlo zpravidla v odpoledních hodinách, kdy stávající akumulační kapacita může být již plně využita. Vhodně by se tak využila energie vyrobená z obnovitelných zdrojů. Implementaci elektromobilu do systému napájení se blíže věnuje kap.3.5.

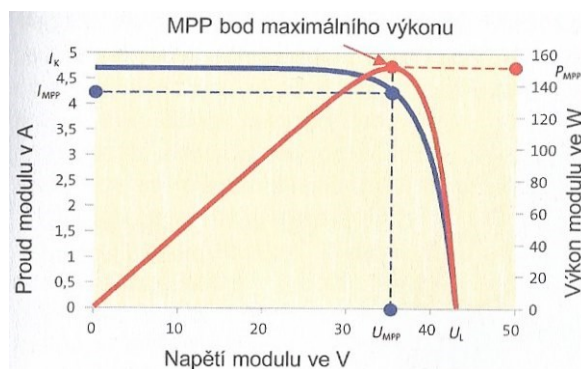
#### 3.1 Návrh fotovoltaické elektrárny

Fotovoltaická elektrárna sestává z několika dílčích zařízení. Jejich skladba závisí na typu provozu elektrárny. Některá zařízení mohou být seskupena do technologických celků. Portfolio výrobků nabízených na trhu je široké, proto může být poměrně složité vybrat vhodné prvky k sestavení funkčního systému pro daný typ provozu.

V pomyslném středu systému stojí měnič neboli invertor. Měnič zprostředkovává přeměnu stejnosměrného proudu vyráběného fotovoltaickým polem na střídavý proud pro elektrickou rozvodnou síť. V dnešní době již většina měničů nedisponuje transformátorem, což výrobcům umožňuje nabízet zařízení s vysokou účinností. Pro hybridní typ provozu je nutné zvolit hybridní měnič, který dokáže

nezávisle přepínat mezi zdroji elektrické sítě a dovoluje i jejich souběh. Najednou tak může měnič dodávat spotřebičům energii z panelů, baterií i distribuční sítě. Hybridní typ měniče v ostrovním režimu vyrábí čistě sinusový průběh střídavého napětí o frekvenci 50 Hz, což zaručuje kompatibilitu s běžnými spotřebiči v domácnosti. Kvalita energie v případě dodávky do distribuční sítě musí vyhovovat normě ČSN EN 50160. Přifázování měniče k síti tak bývá plně automatizováno. [9]

Pro optimalizaci výnosu ze slunečního záření se mezi fotovoltaické pole a inverter zařazuje MPPT regulátor. Regulátor udržuje takové napětí, kterému na voltampérové charakteristice fotovoltaického panelu odpovídá bod maximálního výkonu (odtud MPPT – Maximum Power Point Tracker, sledovač bodu maximálního výkonu). Proud, napětí a výkon se mění v závislosti na teplotě a ozáření modulu.



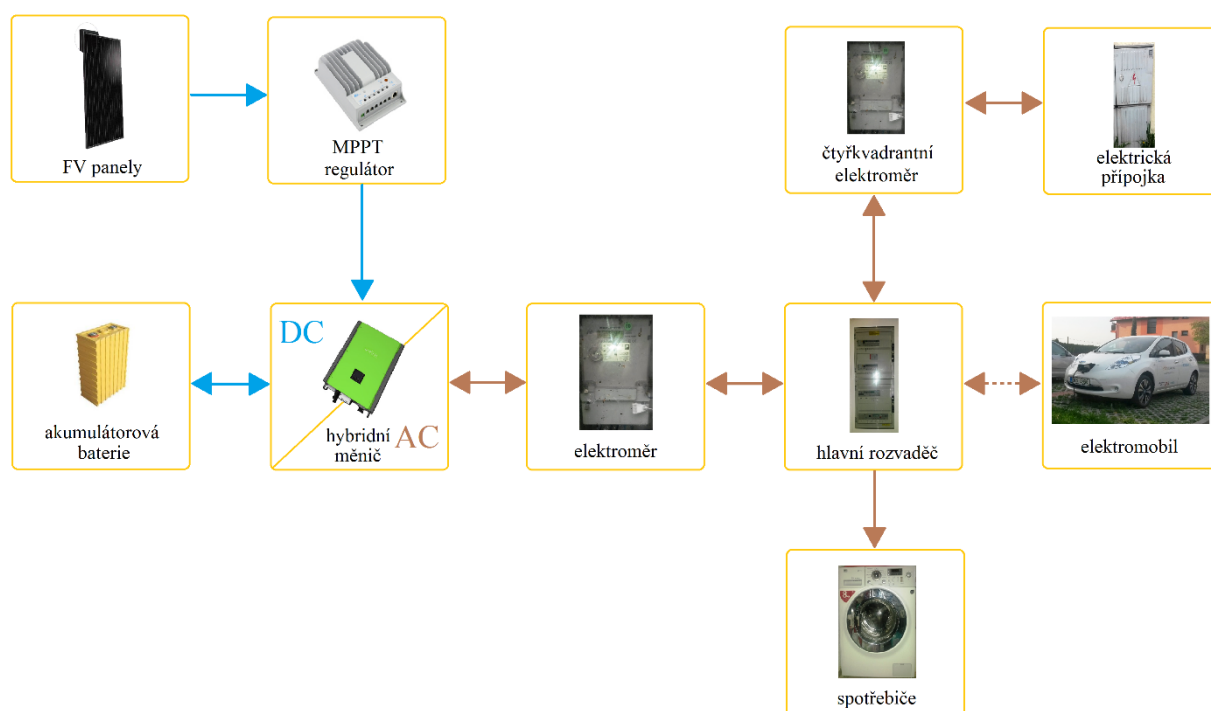
obr. 3-1 Voltampérová charakteristika fotovoltaického panelu s vyznačeným bodem maximálního výkonu [2]

MPPT regulátor má významnou funkci také jako měnič a stabilizátor napětí na straně akumulátorů a hybridního měniče. V podstatě se jedná o DC/DC měnič, který pomocí střídavého vysokofrekvenčního meziobvodu snižuje napětí na úroveň vhodnou pro nabíjení akumulátorů. V obráceném poměru k napětí se zvyšuje nabíjecí proud. Regulátory bývají vybaveny také teplotní kompenzací nabíjení a ochranami akumulátorů. MPPT regulátor může být součástí jednotky měniče.

V případě provozu fotovoltaické elektrárny v ostrovním režimu je takřka nemožné zajistit rovnováhu výroby a spotřeby v každém okamžiku. Proto se do systému zapojují akumulační zařízení, z nichž nejrozšířenější jsou elektrochemické články. Dříve se užívaly nejčastěji olověné akumulátory. Trakční akumulátory používané ve fotovoltaických systémech se od akumulátorů startovacích liší tím, že jsou optimalizovány pro hluboké vybíjení a mají nízké samovybíjení. [10]

V dnešní době jsou stále častěji upřednostňovány akumulátory na bázi lithia, a to jak lithium-iontové (Li-Ion), tak zejména lithium-železo-fosfátové akumulátory (LiFePo). Jejich výhodné vlastnosti již dokáží ospravedlnit dlouhodobě klesající, přesto stále vysokou cenu oproti olověným akumulátorům. LiFePo akumulátory excelují v počtu cyklů, či efektivitě nabíjení, samovybíjení je takřka nulové a články je možné hluboce vybit bez následné ztráty kapacity nebo snížení životnosti. Výrazným kladem oproti olověným akumulátorům jsou vyšší hustota uložené energie a z toho plynoucí menší nároky na prostor a také mnohem větší nabíjecí i vybíjecí proudy, které hrají roli právě u dynamických akumulačních systémů.

Mezi další používané elektrochemické akumulátory patří nikl-kadmiové články (Ni-Cd). Poměrně novou, avšak slibnou technologií jsou průtočné baterie, zejména vanadiová redoxová baterie (VRB). Pro domovní aplikace FVE lze doporučit mechanickou akumulaci v podobě setrvačníku, pro menší systémy a pro krátkodobé zálohování mohou být vhodné superkapacitory. V rodinných domech se často ukládá energie do teplé vody, ať už s regeneračním oběhem, či bez něj. Existují také možnosti ukládání do tlakové energie stlačeného vzduchu nebo do chemické energie vodíku prostřednictvím palivových článků, ty však nejsou v podmínkách rodinného domu výhodně realizovatelné.



obr. 3-2 Schéma hybridního systému napájení v rodinném domě; koláž [11]

Střídavá strana měniče je připojena přes elektroměr pro elektrárnu do hlavního rozvaděče nn. Elektrická přípojka je vybavena čtyřkvadrantovým elektroměrem pro měření odebrané i dodané energie, a to jak činné, tak jalové.

### 3.1.1 Počet fotovoltaických panelů a jejich rozmístění na střeše pro rozšířený návrh

Limitujícím faktorem pro výkon fotovoltaické elektrárny je především využitelná plocha střechy. Dle následujícího výpočtu a obr. 3-3 se stanoví maximální počet fotovoltaických panelů, které lze na střechu umístit a které budou využity v rozšířeném návrhu.

Fotovoltaické panely nelze upevňovat až k okrajům střechy z důvodu nižší mechanické odolnosti. Vzdálenost panelů od střešní krytiny má být co nejmenší, aby se omezily vztahové síly vznikající působením větru, avšak zároveň natolik velká, aby docházelo k dostatečné cirkulaci vzduchu pro chlazení panelů. Pro vzdálenost panelů od okrajů střechy u hřebene, okapů a štítu platí, že by měla být nejméně pětinašobkem vzdálenosti modulů od plochy střechy. [2]

$$l_{omin} = 5 \cdot l_r = 5 \cdot 40 = 200 \text{ mm} \quad (3.1)$$

kde:  $l_{omin}$  je minimální vzdálenost od okraje střechy (mm)  
 $l_r$  je vzdálenost fotovoltaických panelů od střešní krytiny (mm);  $l_r = 40 \text{ mm}$

Výpočet maximálního počtu fotovoltaických panelů v řadě  $n_{plm}$ :

$$b \geq n_{pl} \cdot l_p + (n_{pl} - 1) \cdot l_s + 2 \cdot l_{omin} \quad (3.2)$$

kde:  $b$  je délka střešní konstrukce (mm)  
 $n_{pl}$  je počet fotovoltaických panelů v řadě (-)  
 $l_p$  je šířka fotovoltaického panelu (mm);  $l_p = 983 \text{ mm}$   
 $l_s$  je vzdálenost mezi sousedními panely daná šířkou bodové svorky (mm);  $l_s = 13 \text{ mm}$   
 $l_{omin}$  je minimální vzdálenost od okraje střechy (mm).

Po úpravě:

$$n_{pl} \leq \frac{b+l_s-2 \cdot l_{omin}}{l_p+l_s}; n_{pl} \in \mathbb{N} \quad (3.3)$$

A po dosazení:

$$n_{pl} \leq \frac{9400+13-2 \cdot 200}{983+13}; n_{pl} \in \mathbb{N} \quad (3.4)$$

Výsledkem nerovnice je:

$$n_{pl} \leq 9,049; n_{pl} \in \mathbb{N} \Rightarrow n_{pl} \in \langle 1; 9 \rangle \quad (3.5)$$

Hledaný maximální počet fotovoltaických panelů v řadě je:

$$n_{plm} = \max\{n_{pl}\} = 9 \quad (3.6)$$

Obdobným postupem se vypočítá maximální počet fotovoltaických panelů ve sloupci  $n_{phm}$ :

$$l_k \geq n_{ph} \cdot h_p + (n_{ph} - 1) \cdot l_s + l_t + l_{omin} \quad (3.7)$$

kde:  $l_k$  je délka krokve (mm)  
 $n_{ph}$  je počet fotovoltaických panelů ve sloupci (-)  
 $h_p$  je výška fotovoltaického panelu (mm);  $h_p = 1639 \text{ mm}$   
 $l_s$  je vzdálenost mezi sousedními panely daná šířkou bodové svorky (mm)  
 $l_t$  je vzdálenost mezi hřebenem střechy a spodní hranou tašky s větracím otvorem (mm);  
 $l_t = 800 \text{ mm}$   
 $l_{omin}$  je minimální vzdálenost od okraje střechy (mm).

Po úpravě:

$$n_{ph} \leq \frac{l_k+l_s-l_t-l_{omin}}{h_p+l_s}; n_{ph} \in \mathbb{N} \quad (3.8)$$

A po dosazení:

$$n_{ph} \leq \frac{6719+13-800-200}{1639+13}; n_{ph} \in \mathbb{N} \quad (3.9)$$

Výsledkem nerovnice je:

$$n_{ph} \leq 3,47; n_{ph} \in \mathbb{N} \Rightarrow n_{ph} \in \langle 1; 3 \rangle \quad (3.10)$$

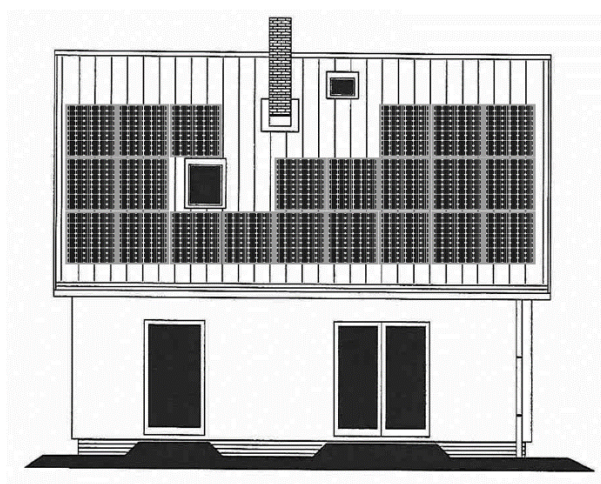
Hledaný maximální počet fotovoltaických panelů ve sloupci je:

$$n_{phm} = \max\{n_{ph}\} = 3 \quad (3.11)$$

Střešní plocha by v ideálním případě mohla být pokryta maximálním počtem panelů  $n_{pm}$ :

$$n_{pm} = n_{plm} \cdot n_{phm} = 9 \cdot 3 = 27 \quad (3.12)$$

Skutečný počet solárních panelů je ovšem nižší, jelikož na střeše se nachází střešní okno, půdní okno a komín, jak je znázorněno na obr. 3-3. Navíc oproti nákresu je ve skutečnosti na střeše umístěna řada s taškami vybavenými větracími otvory, a to přibližně v úrovni horní hrany půdního okna.



obr. 3-3 Náčrtek jižní strany objektu po instalaci fotovoltaických panelů v rozšířené verzi [1]; upraveno autorem

Z nákresu na obr. 3-3 je zřejmé, že kvůli umístění střešního okna nelze na střechu upevnit dva fotovoltaické panely, komín znemožňuje využití dalších dvou panelů a taktéž prostor bezprostředně pod půdním oknem není možno využít k umístění jednoho kusu fotovoltaického panelu, aby byl umožněn bezpečný přístup na střechu. Celkový počet fotovoltaických panelů na střeše  $n_p$  se tedy rovná:

$$n_p = n_{pm} - (2 + 2 + 1) = 27 - (2 + 2 + 1) = 22 \quad (3.13)$$

Při návrhu je stejným postupem posuzována také možnost vodorovného uspořádání. Počet fotovoltaických panelů vychází pro tuto variantu stejný jako pro svislé uspořádání. Z důvodu nutného

umístění panelů blíže komínu a s tím související vyšší pravděpodobností zastínění se však vodorovné uspořádání jeví jako méně výhodné.

### 3.1.2 Analýza předpokládaných ztrát

Výpočet vyrobené energie fotovoltaickou elektrárnou je realizovaný pomocí webové aplikace PVGIS. Aplikace má integrovaný výpočet ztrát daných geografickou polohou fotovoltaických panelů. Jsou to:

- ztráty způsobené teplotou a malým dopadem slunečního záření:  $\Delta P_{temp\%} = 7,4\%$
- ztráty způsobené odrazivostí:  $\Delta P_{refl\%} = 3\%$ .

Účinnosti jednotlivých komponent a z nich odvozené ztráty jsou následující:

- účinnost DC/AC měniče  $\eta_{inv} = 0,95$  (procentní ztráty  $\Delta P_{inv\%} = 5\%$ )
- účinnost akumulátorů  $\eta_{accu} = 0,95$  (procentní ztráty  $\Delta P_{accu\%} = 5\%$ )
- účinnost MPPT regulátoru  $\eta_{mppt} = 0,97$  (procentní ztráty  $\Delta P_{mppt\%} = 3\%$ )
- účinnost přenosu  $\eta_{tran} = 0,98$  (procentní ztráty  $\Delta P_{tran\%} = 2\%$ ).

Účinnosti přenosu jsou charakterizovány dodatečné ztráty v kabeláži, na přechodových odporech apod.

Předpokládané ztráty v akumulátorech lze snížit z důvodu neukládání veškeré vyrobené energie do akumulátorové baterie. Předpokládá se, že 30% vyrobené energie se přímo spotřebuje a 70% energie se uloží do akumulátorů pro pozdější využití. Proto se dále použije upravená hodnota ztrát:

- upravená účinnost akumulátorů  $\eta_{accu'} = 0,965$  (procentní ztráty  $\Delta P_{accu'\%} = 3,5\%$ ).

Celková účinnost systému napájení  $\eta_{sys}$  se rovná:

$$\eta_{sys} = \eta_{inv} \cdot \eta_{accu'} \cdot \eta_{mppt} \cdot \eta_{tran} = 0,95 \cdot 0,965 \cdot 0,97 \cdot 0,98 = 0,871 \quad (3.14)$$

Tomu odpovídá hodnota předpokládaných systémových ztrát  $\Delta P_{sys\%}$ :

$$\Delta P_{sys\%} = (1 - \eta_{sys}) \cdot 100 = (1 - 0,871) \cdot 100 = 12,9\% \quad (3.15)$$

Tato hodnota se dosadí do webové aplikace PVGIS.

### 3.1.3 Předpokládaná výroba elektrické energie fotovoltaickými panely podle PVGIS

Aplikace PVGIS, vyvinutá Institutem pro energii a dopravu Společného výzkumného střediska Evropské komise, sídlícím v italském městě Ispira, vychází z dlouholeté statistiky dopadajícího slunečního záření na zemský povrch. K výpočtu pro kterékoli místo v Evropě využívá údaje ze satelitních měření a data meteorologických stanic. [12]



Vstupními údaji pro výpočet v aplikaci PVGIS jsou:

- použitá technologie fotovoltaických panelů – předpokládá se použití panelů z krystalického křemíku
- instalovaný výkon fotovoltaických panelů – dle varianty (kWp)
- předpokládané systémové ztráty –  $\Delta P_{sys\%} = 12,9\%$
- montážní pozice fotovoltaických panelů – střecha je zhotovena z pálených tašek vlnovitého profilu, za panelem tedy může volně proudit vzduch a z hlediska chlazení se panely považují za volně stojící
- sklon fotovoltaických panelů – stejný jako sklon střechy,  $\alpha = 38^\circ$
- azimut fotovoltaických panelů – azimut střechy je  $Az_r = 210^\circ$ , aplikace však považuje za bod s nulovým azimutem jižní pól; proto se zadává  $Az_p = 30^\circ$ .

Výstupem z aplikace je tabulka průměrných denních hodnot a celkových hodnot dodané energie za jednotlivé měsíce včetně celkové roční dodané energie.

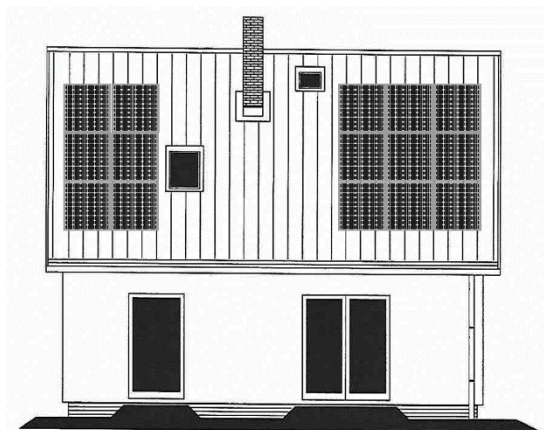
### 3.1.3.1 Základní návrh

V případě základního návrhu je nutné použít modifikovaný postup. Hledá se takový jmenovitý výkon fotovoltaických panelů v kWp, aby dodávka energie systémem napájení v jarních a letních měsících byla rovna nebo mírně větší, než předpokládaná spotřeba energie v domácnosti.

tab. 3-1 Výstup z aplikace PVGIS pro základní návrh [12]; upraveno autorem

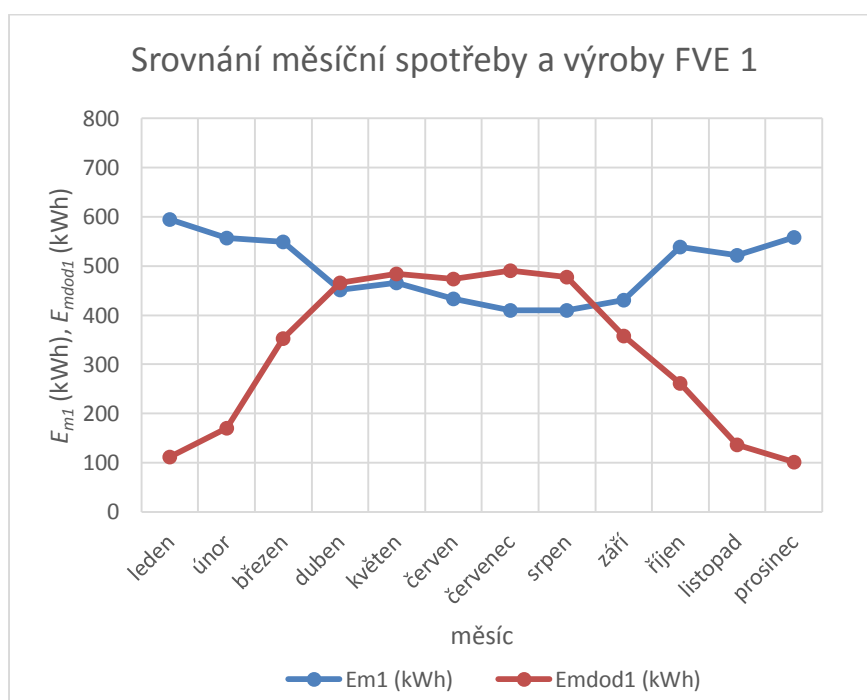
<i>m</i>	měsíc	$E_{ddod1}$ (kWh)	$E_{mdod1}$ (kWh)
1	leden	3,61	112
2	únor	6,06	170
3	březen	11,3	352
4	duben	15,5	466
5	květen	15,6	484
6	červen	15,8	474
7	červenec	15,8	491
8	srpen	15,4	478
9	září	11,9	358
10	říjen	8,44	262
11	listopad	4,56	137
12	prosinec	3,27	101
celkem za rok $E_{rdod1}$ (kWh)			3885

Nalezený optimální výkon  $P_{fvel}$  se rovná 4050 Wp. Tento výkon odpovídá využití 15 ks fotovoltaických panelů o jmenovitém výkonu 270 Wp. Snížení počtu panelů oproti rozšířenému návrhu umožňuje jejich výhodnější rozmístění. Nalevo od střešního okna zůstal pouze blok šesti panelů, vpravo od komína je umístěno pole 3x3, tedy 9 panelů. Oba bloky panelů mohou být posunuty co nejvýše pro optimalizaci výnosu a také blíže do středu střechy, aby došlo ke snížení zatížení okraje střechy.



obr. 3-4 Nákres jižní strany objektu po instalaci fotovoltaických panelů v základní verzi [1]; upraveno autorem

Ze srovnání výroby a spotřeby elektrické energie na obr. 3-5 vyplývá, že takto dimenzovanou fotovoltaickou elektrárnou lze pokrýt energetické požadavky během období od dubna do srpna. Pro zajištění dostatku energie pro vlastní spotřebu i v posledním letním měsíci, v září, by jmenovitý výkon fotovoltaické elektrárny bylo nutno navýšit už téměř o pětinu. Taková úprava by znamenala značný nárůst nadvýroby a investičních prostředků, proto byla vyhodnocena jako nevýhodná. V období od září do března následujícího roku je vždy nutné odebírat elektrickou energii také z distribuční sítě.



obr. 3-5 Srovnání měsíční spotřeby a výroby elektrické energie v systému dle základního návrhu

### 3.1.3.2 Rozšířený návrh

Druhé omezení výkonu fotovoltaické elektrárny spočívá ve výkonu fotovoltaického panelu. V České republice byly v únoru 2016 komerčně dostupné panely o jmenovitém výkonu  $P_{np} = 295$  Wp.

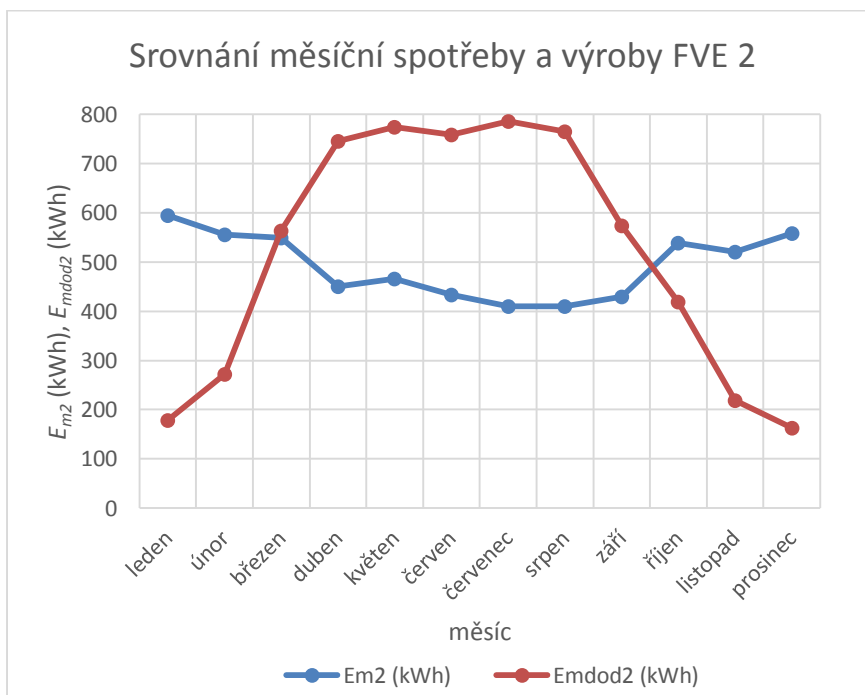
Jednoduchým výpočtem se tak určí výkon fotovoltaické elektrárny, jehož hodnota se dosadí do vstupu aplikace PVGIS:

$$P_{fve2} = P_{np} \cdot n_p = 295 \cdot 22 = 6490 \text{ Wp} \quad (3.16)$$

tab. 3-2 Výstup z aplikace PVGIS pro rozšířený návrh [11]; upraveno autorem

<i>m</i>	měsíc	$E_{ddod2}$ (kWh)	$E_{mdod2}$ (kWh)
1	leden	5,79	179
2	únor	9,71	272
3	březen	18,2	564
4	duben	24,9	746
5	květen	25,0	775
6	červen	25,3	759
7	červenec	25,4	786
8	srpen	24,7	766
9	září	19,1	574
10	říjen	13,5	419
11	listopad	7,31	219
12	prosinec	5,24	163
celkem za rok $E_{rdod2}$ (kWh)		6222	

Ze srovnání na obr. 3-6 vychází, že nadprodukce elektrické energie nastane již na začátku března a pokračuje až do konce září. Během letních měsíců se vyrobí téměř dvojnásobek předpokládané potřeby energie. Vzniká tedy prostor pro zařazení dalšího spotřebiče do systému, např. elektromobilu.



obr. 3-6 Srovnání měsíční spotřeby a výroby elektrické energie v systému dle rozšířeného návrhu

### 3.2 Dimenzování akumulčních kapacit

Výhodou hybridního řešení je určitá míra nezávislosti na povětrnostních podmínkách, případně výpadcích distribuční sítě. Tato míra je kvantifikována kapacitou akumulčních prostředků. Disponibilní kapacita ovlivňuje podíl využití vyrobené energie k vlastní spotřebě k energii odebírané z distribuční sítě. Dostatečná akumulční kapacita je žádoucí, na druhou stranu klade zvýšené nároky na investiční prostředky.

Výchozím parametrem pro dimenzování kapacity je poměr energie přímo spotřebované k energii uložené do baterií (30:70). To znamená, že pro efektivní chod systému je nutné, aby bylo možné do akumulátorů uskladnit minimálně 70% z množství energie spotřebované za den s nejvyšší spotřebou. Kapacitu je vhodné dále navýšit pro zajištění dostatku energie z vlastního zdroje i při zhoršeném počasí. Určitou roli při návrhu může také hrát možný požadavek investora na minimální dobu provozu sítě pouze na energii z akumulčních zdrojů.

V rodinném domě již jedno akumulční zařízení je nainstalováno. Považuje se za něj elektrický bojler se zásobníkem na 160 litrů vody, který nově využije přebytky energie vyráběné fotovoltaikou. Tepelná energie uložená ve vodě se instalovanou technologií nedá převést zpět na elektrickou. Na bojler se tedy nahlíží jako na spotřebič. Počítá se energie  $E_{eb}$ , která se spotřebuje při nahlátí plného zásobníku:

$$E_{eb} = \frac{c_{H_2O} \cdot \rho_{H_2O} \cdot V_{eb} \cdot (t_1 - t_0)}{3600 \cdot \eta_{eb}} = \frac{4180 \cdot 998 \cdot 0,16 \cdot (55 - 10)}{3600 \cdot 0,99} = 8428 \text{ Wh} \quad (3.17)$$

kde:  $E_{eb}$  je energie potřebná k ohřátí vody v zásobníku bojleru (Wh)  
 $c_{H_2O}$  je měrná tepelná kapacita vody při 20°C (J·kg<sup>-1</sup>·K<sup>-1</sup>);  $c_{H_2O} = 4180 \text{ J·kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$   
 $\rho_{H_2O}$  je hustota vody při 20°C (kg·m<sup>-3</sup>);  $\rho_{H_2O} = 998 \text{ kg·m}^{-3}$   
 $V_{eb}$  je objem zásobníku vody (m<sup>3</sup>);  $V_{eb} = 0,16 \text{ m}^3$   
 $t_1$  je konečná teplota vody (°C);  $t_1 = 55^\circ\text{C}$   
 $t_0$  je počáteční teplota vody (°C);  $t_0 = 10^\circ\text{C}$   
 $\eta_{eb}$  je účinnost elektrického bojleru (-);  $\eta_{eb} = 0,99$

O energii  $E_{eb}$  se sníží výchozí hodnota energie spotřebované za den s nejvyšší spotřebou  $E_{dmax}$  pro dimenzování akumulátorové baterie. Vyrobená energie se totiž přímo využije k ohřevu vody. Nutno poznamenat, že využitím akumulace do teplé vody dojde ke změně rozložení spotřeby energie během dne, podíl energie přímo spotřebované stoupne, naopak podíl energie, která musí být uložena do akumulátorové baterie, klesne. Původní podíl sedmdesáti procent lze tedy považovat za hodnotu, které se skutečný stav přiblíží pouze za nepříznivých podmínek.

$$E_{db} = E_{dmax} - E_{eb} = 22,32 - 8,428 = 13,89 \text{ kWh} \quad (3.18)$$

Potřebná akumulční kapacita se spočítá:

$$E_{accu} = \frac{E_{db} \cdot k_{a\%}}{100 \cdot DOD_{max} \cdot T_{CF} \cdot \eta_{accu}} = \frac{13,89 \cdot 70}{100 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 0,95} = 10,77 \text{ kWh} \quad (3.19)$$

kde:  $E_{accu}$  je potřebná akumulční kapacita pro provoz hybridního systému (kWh)

$E_{db}$  je maximální spotřebovaná energie za den snižená o spotřebu elektrického bojleru při ohřevu vody v zásobníku (kWh)

$k_{a\%}$  je odhadovaný procentní podíl energie, která se nespotřebuje přímo (%);  $k_{a\%} = 70\%$

$DOD_{max}$  je povolená hloubka vybití akumulátoru (Depth of Discharge) (-);

$DOD_{max} = 0,95$

$T_{CF}$  je teplotní korekční faktor akumulátoru (-); pro  $20^{\circ}\text{C}$   $T_{CF} = 1$

$\eta_{accu}$  je účinnost akumulátoru (-);  $\eta_{accu} = 0,95$

Pro dimenzování akumulační kapacity na určitou výdrž při napájení pouze z baterie se standardně používá vzorec (3.20), uvedený například v [13]. Předpokládá se záloha po dobu jednoho dne:

$$C_{az} = \frac{E_{dmax} \cdot n_z}{U_{accu} \cdot DOD_{max} \cdot T_{CF} \cdot \eta_{accu}} = \frac{22320 \cdot 1}{48 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 0,95} = 515,2 \text{ Ah} \quad (3.20)$$

kde:  $C_{az}$  je potřebná akumulační kapacita pro záložní provoz (Ah)

$E_{dmax}$  je maximální spotřebovaná energie za den (kWh)

$n_z$  je počet dní, kdy je systém napájen pouze z akumulátorové baterie (-);  $n_z = 1$

$U_{accu}$  je napětí akumulátorové baterie (V);  $U_{accu} = 48 \text{ V}$

$DOD_{max}$  je povolená hloubka vybití akumulátoru (Depth of Discharge) (-);

$DOD_{max} = 0,95$

$T_{CF}$  je teplotní korekční faktor akumulátoru (-); pro  $20^{\circ}\text{C}$   $T_{CF} = 1$

$\eta_{accu}$  je účinnost akumulátoru (-);  $\eta_{accu} = 0,95$

Aby bylo možné porovnat hodnotu akumulační energie potřebnou pro provoz hybridního systému a akumulační energii potřebnou pro případ napájení pouze z akumulačních zdrojů, je nutné spočítat kapacitu  $C_{ab}$  ze snížené spotřeby  $E_{db}$ :

$$C_{ab} = \frac{E_{db} \cdot n_z}{U_{accu} \cdot DOD_{max} \cdot T_{CF} \cdot \eta_{accu}} = \frac{13,89 \cdot 10^3 \cdot 1}{48 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 0,95} = 320,6 \text{ Ah} \quad (3.21)$$

Přepočteno na energii musí být pro jednodenní zálohu možné uložit do baterie:

$$E_{ab} = C_{ab} \cdot U_{accu} = 320,6 \cdot 48 \cdot 10^{-3} = 15,39 \text{ kWh} \quad (3.22)$$

Poměr akumulačních energií  $k_{ae}$  odpovídá:

$$k_{ae} = \frac{E_{ab}}{E_{accu}} = \frac{15,39}{10,77} = 1,429 \quad (3.23)$$

V posuzovaném případě platí, že akumulační schopnost elektrochemických článků instalovaných do systému musí být o 42,9% větší v případě, že má být zajištěna energie na jednodenní provoz pouze z akumulačních zdrojů, než kdyby postačovala akumulační kapacita pro efektivní provoz hybridního systému. Dané rozšíření s sebou nese vyšší náklady, které však mohou být kompenzovány vyšším využitím vlastní vyrobené energie, či vyšším zajištěním napájení v případě výpadků či špatných povětrnostních podmínek po delší časový úsek. Ze srovnání vyplývá, že pro rozšířený návrh napájecího systému je vhodné zvolit kapacitu baterie s dostatečnou rezervou, tedy o hodnotě blízké  $C_{ab}$ , zatímco akumulační schopnost základního systému musí být minimálně hodnoty  $E_{accu}$ .

### 3.3 Použité komponenty systému napájení

#### 3.3.1 Fotovoltaické panely

V obou verzích návrhu fotovoltaické elektrárny jsou zdrojem elektrické energie panely s články z monokrystalického křemíku značky BenQ. Rozšířený návrh obsahuje nejvýkonnější variantu panelu typu GreenTriplex PM060M02 Plus o jmenovitém výkonu 295 W, základní verze využívá panely bez přídomku Plus o výkonu 270 W pro jejich výhodnější poměr cena/výkon.

tab. 3-3 Technické údaje fotovoltaických panelů [14]; upraveno autorem

Fotovoltaický panel	Základní návrh	Rozšířený návrh
BenQ GreenTriplex PM060M02	270 Wp	Plus 295 Wp
Jmenovitý výkon $P_{np}$ (W)	270	295
Účinnost panelu $\eta_p$ (%)	16,8	18,3
Jmenovité napětí $U_{mpp}$ (V)	31,8	31,6
Jmenovitý proud $I_{mpp}$ (A)	8,50	9,34
Napětí naprázdno $U_{OC}$ (V)	38,5	40,9
Proud nakrátko $I_{SC}$ (A)	9,01	9,86
Maximální odchylka $P_{np}\%$ (%)	0 ÷ +3	
Běžná provozní teplota článku (°C)	46 ± 2	
Provozní rozsah teplot (°C)	-40 ÷ +85	
Rozsah okolních teplot (°C)	-40 ÷ +45	
Maximální systémové napětí (V)	1000	
Jmenovitý proud pojistky (A)	15	
Počet obtokových diod (-)	3	
Krytí	IP67	
Rozměry (v x š x h; mm)	1639 x 983 x 40	
Hmotnost (kg)	18,5	19
Solární články	60 ks monokrystalických článků	
Záruka	10 let	
Záruka výkonu	lineární degradace na 80% za 25 let	
poznámky:		
Elektrické parametry naměřeny při standardních zkušebních podmínkách v souladu s ČSN EN 60904-3 ed. 2:		
intenzita záření 1000 W/m <sup>2</sup> , spektrální rozložení při AM = 1,5, teplota 25 ± 2°C		
Běžná provozní teplota článku měřena při podmínkách:		
intenzita záření 800 W/m <sup>2</sup> , spektrální rozložení při AM = 1,5, teplota vzduchu 20°C, rychlost větru 1 m.s <sup>-1</sup>		



**obr. 3-7 Fotovoltaický panel BenQ řady PM060M02Plus v černém provedení [11]; upraveno autorem**

Počet panelů v rozšířeném návrhu je 22, základní variantě vystačí 15 panelů. Vzhledem k omezení danými MPPT regulátory (viz tab. 3-3) je 22 panelů rozděleno do dvou samostatných výrobních částí, a to tak, že 10 panelů zapojených do pěti větví o dvou panelech je řízeno prvním MPPT regulátorem. Druhá skupina o 12 panelech je sestavena ze čtyř větví o třech panelech. První výrobní část se na obr. 3-3 nachází vlevo od komína a navíc k ní patří panel nejbližší pod komínem. Ostatní panely napravo tvoří druhou výrobní část. Patnáct panelů v základní variantě je řazeno do pěti větví o třech panelech.

### **3.3.2 Hybridní měnič**

Do projektovaného systému bylo vybráno zařízení Savebox Home SBH 2,6-7,5-3,5 výrobce Fitcraft Energy. Jednotka v sobě sdružuje MPPT regulátor, hybridní měnič, nabíječ baterií, akumulátorovou baterii 7,5 kWh včetně managementu (BMS, Battery Management System) a jištění.



**obr. 3-8 Hybridní systém pro výrobu a akumulaci elektrické energie Savebox Home [15]; upraveno autorem**

Výhodou integrace několika prvků do jednoho zařízení je odzkoušená kompatibilita všech částí, jednoduchá instalace, vyšší bezpečnost a v neposlední řadě také design. Zařízení je bezúdržbové, český výrobce nabízí záruku až na 10 let.

Stav systému lze zjistit pomocí vzdáleného přístupu přes internet, stačí jednotku připojit pomocí UTP kabelu do domácí sítě. Druhým způsobem spojení je technologie NFC, kdy se po přiblížení smartphonu k určené ploše na čelním panelu načte aktuální stav do aplikace v mobilním zařízení. Jednotka také zobrazuje energetické toky na čelním panelu. Pro navrhovaný systém je důležitá možnost propojení s elektronikou tzv. chytrého domu, tedy inteligentním řízením spotřeby a ovládáním zařízení v domě.

**tab. 3-4 Technické údaje hybridního systému Savebox Home [15]**

<b>Hybridní systém</b>	<b>Základní návrh - 1 ks</b>
<b>Fitcraft Energy Savebox Home SBH 2,6-7,5-3,5</b>	<b>Rozšířený návrh - 2 ks</b>
Doporučený výkon FV elektrárny (kWp)	3,5
Maximální výkon FV elektrárny (kWp)	4,8
MPPT - maximální napětí (V)/maximální proud (A)	150/70
Trvalý výstupní výkon měniče (kVA)	2
Výstupní výkon měniče - 30 min (kVA)	2,6
Výstupní výkon měniče - 5 s (kVA)	6,5
Celková kapacita akumulátorů - 100% DOD (kWh)	7,5
Využitelná kapacita akumulátorů - 95% DOD (kWh)	7,2
Počet akumulátorových jednotek	5
Rozšiřitelnost (kWh)	12
Pracovní AC napětí systému (V)	230
Počet AC fází	1
Vstupní/výstupní jištění (A)	32
Maximální trvalý vstupní/výstupní průchozí proud (A)	32
Doba přechodu na ostrovní provoz při výpadku el. sítě (ms)	< 15
Krytí	IP20
Provozní teplota (°C)	-10 ÷ +40
Rozměry (v x š x h; mm)	1400 x 650 x 300
Hmotnost (kg)	155

Zařízení odpovídá technickým požadavkům pro získání dotací z titulů Nová zelená úsporám. Savebox Home zapadá do kategorie „mikro-zdroj“ (výrobna elektrické energie s instalovaným výkonem do 10 kWp) a vztahuje se na něj proces zjednodušeného připojení. To znamená, že nový majitel Saveboxu Home pouze oznámí provozovateli distribuční soustavy, že toto zařízení vlastní a provozuje [15]. Pro navrhovaný systém je důležité poznamenat, že zjednodušené připojení je podmíněno spotřebou veškeré vyrobené energie na místě, přesněji technickému zabránění přetoků energie do sítě. V opačném případě je nutné projít standardním posouzením možnosti připojení.



Poněvadž jednotka dovoluje připojení fotovoltaické elektrárny o výkonu maximálně 4,8 kWp, rozšířená varianta návrhu obsahuje dva kusy zařízení, které pracují každé do jedné fáze domovního rozvodu a využívají sdílenou akumulární kapacitu o velikosti 15 kWh, rozšiřitelnou až na 24 kWh. Tímto řešením se také zdvojnásobí výstupní výkon celého systému napájení. Vyšší výstupní výkon přináší možnost provozu více spotřebičů současně a především poskytuje dostatečný prostor pro nabíjení elektromobilu.

### 3.3.3 Akumulátory

Součástí jednotky hybridního systému jsou LiFePO<sub>4</sub> akumulátory výrobce Fitcraft Energy označené LA3016. Akumulátorová jednotka složená z 16 článků disponuje kapacitou 1,5 KWh. Při vybíjení na maximální přípustnou hloubku vybití  $DOD_{max} = 95\%$  výrobce udává životnost přes 4000 cyklů, to však neznamená, že by úložiště bylo poté znehodnoceno. Kapacita článků totiž poklesne přibližně na 95%, tudíž zařízení lze dále provozovat, byť s menší dostupnou kapacitou.



obr. 3-9 Akumulátorový modul Fitcraft Energy LA3016 [16]; upraveno autorem

Akumulátorová jednotka LA3016 je vedle managementu akumulátorových článků BMS vybavena dalšími pokročilými systémy pro optimalizaci výkonu článků, prodloužení jejich životnosti a zajištění vysoké úrovně bezpečnosti. Elektronika sleduje napětí, proud a teplotu u každého článku a kontroluje proces nabíjení a vybíjení. Systémy se vyznačují následujícími funkcemi:

- ochrana proti hlubokému vybití nebo přebíjení u každého článku
- omezení nadměrných nabíjecích i vybíjecích proudů
- balancér – vyrovnávání energie v jednotlivých člancích
- redundance – kombinace elektronických a elektromechanických bezpečnostních prvků
- rozpojení – možnost rozložit jednotky na menší části, které jsou bezpečnější při poruše [17]

Výchozí konfigurace zvoleného hybridního systému Savebox Home obsahuje 5 akumulátorových modulů. Rozšířený návrh systému napájení zahrnuje dvě tyto hybridní jednotky, jejich společné úložiště tudíž čítá 10 modulů o celkové akumulární kapacitě  $C_{a2} = 15$  kWh. Daná kapacita je v souladu se závěry uvedenými v kap. 3.2. V případě základního návrhu s jediným zařízením Savebox Home je nevyhnutelné dovybavení až na hranici rozšiřitelnosti, a to třemi kusy

akumulátorových modulů LA3016 na celkovou akumulační kapacitu  $C_{al} = 12 \text{ kWh}$ , aby bylo možno uložit energii větší než  $E_{accu}$ , vypočítanou z rovnice (3.19).

tab. 3-5 Technické údaje akumulátorů LA3016 [18]

Akumulátorová jednotka	Základní návrh - 8 ks
Fitcraft Energy LA3016	Rozšířený návrh - 10 ks
Technologie	LiFePO4
Počet článků	16
Jmenovité napětí (V)	48
Akumulační kapacita - při 50 V (Ah)	30
Akumulační kapacita (kWh)	1,5
Doporučený nabíjecí/vybíjecí proud (A)	10
Maximální nabíjecí/vybíjecí proud - 5 min (A)	20
Rozpětí nabíjecího napětí (V)	43 ÷ 58
Rozpětí vybíjecího napětí (V)	56 ÷ 40
Životnost - počet cyklů při 95% DOD	> 4000
Jmenovitý proud pojistky (A)	30
Krytí	IP30
Provozní teplota při nabíjení (°C)	+10 ÷ +45
Provozní teplota při vybíjení (°C)	-10 ÷ +60
Rozměry (v x š x h; mm)	205 x 470 x 157
Hmotnost (kg)	16

### 3.4 Návrh řízení spotřeby

Hybridní měnič dokáže do domovního rozvodu dodat omezený výkon, navíc jen po určitou dobu. Proto se do domu zavede tzv. inteligentní elektroinstalace, která umí řídit spotřebu v domě podle možností měniče, s nímž je propojena komunikačním rozhraním. Systém inteligentní domácnosti lze navíc využít ke zvýšení komfortu, například k ovládání žaluzií a rolet, spínání osvětlení či regulaci topení a klimatizace. Uživatel k systému přistupuje pomocí ovládacího panelu nebo vzdáleně přes internetový prohlížeč či aplikaci pro mobilní platformy.

Vybraný systém inteligentní elektroinstalace Ego-n Plus od výrobce ABB využívá sběrníkovou strukturu. Na primární sběrnici se připojují moduly napájecí, řídící, komunikační, dále snímače, vysílače nebo akční členy jako spínače. Verze Plus obsahuje oproti základní verzi navíc vzdálený přístup, komunikační rozhraní pro připojení měniče a modul logických funkcí. Tento modul může posloužit k naprogramování pravidel pro spínání spotřebičů tak, aby nedocházelo k přetěžování měniče. Současně mohou pravidla pomoci zvýšit přímé využití vyrobené elektrické energie lepším rozložením spotřeby během dne a nakonec také pomoci zachovat komfort uživatele omezením vypínání vybraných spotřebičů. Pravidla vychází z analýzy spotřeby energie v domě a stanoveného limitu 2,6 kVA pro zaznamenání přetížení a následného rozhodování o způsobu regulace. Dále se nachází stručný přehled několika návrhů pravidel konkrétně pro posuzovanou aplikaci:

- V případě zapnutí spotřebiče s krátkodobým, avšak vysokým odběrem elektrické energie vypnout spotřebič kategorie II – elektrický bojler nebo plynový kotel. Díky vysoké hysterezi těchto tepelných zařízení je několikaminutový výpadek téměř neznatelný. Toto pravidlo se může uplatnit při sepnutí rychlovarné konvice, či fénu nebo žehličky na vlasy ve vybrané zásuvce v koupelně.
- Při zapnutí spotřebiče kategorie III po dobu deseti minut potlačit zapnutí dalšího spotřebiče kategorie III, případně kategorie IV. Tepelné spotřebiče kategorie III jsou charakteristické vysokým odběrem v prvních minutách provozu, kdy dochází k ohřevu provozního média.
- Předchozí bod se týká mj. elektrické trouby. Její příkon až 2,9 kW klade vysoké nároky na dodávku energie. Proto je spuštění trouby podmíněno úrovní celkového minutového příkonu pod 0,5 kW během pěti minut před spuštěním trouby. Stejně pravidlo se aplikuje i na automatickou pračku, funkce je popsána na skutečném případě v kap.2.4.

### **3.5 Připojení elektromobilu do systému napájení**

#### **3.5.1 Historie využití bidirektivního nabíjení**

Pro využití elektromobilu v systému napájení nejen jako spotřebiče, ale také možného zdroje energie, je nutné, aby vůz měl schopnost bidirektivního nabíjení, tedy umožňoval tok energie nejen ze sítě do akumulátoru, ale také z akumulátoru do elektrického rozvodu. Tato schopnost se často označuje dle místa spotřeby Vehicle-To-Grid (V2G, vozidlo do rozvodné sítě) nebo Vehicle-To-Home (V2H, vozidlo do domu).

První zmínky o technologii Vehicle-To-Grid se objevují v první polovině 90. let ve vizích institutu Rocky Mountain Institute, sídlícím v Coloradu. Průkopníkem ve výzkumu V2G byla od minulého desetiletí americká University of Delaware. Univerzita zpočátku používala produkční vozy původně vybavené spalovacím motorem a upravené ve spolupráci se společností ACP propulsion na elektrický pohon. V rámci projektu Grid On Wheels univerzita využívala flotilu vozidel BMW Mini E vybavených bidirektivním nabíjecím systémem. Cílem projektu bylo vytvořit pomocí softwaru virtuální elektrárnu z baterií elektromobilů, která zároveň dokázala poskytovat podpůrné služby ve formě regulace frekvence v rozvodné síti.

Integraci elektromobilů do elektrizační soustavy se také úspěšně věnoval mezi lety 2010 a 2013 dánský projekt EDISON. Konečná testovací fáze proběhla na pěti vozech Mitsubishi i-MiEV provozovaných na ostrově Bornholm s vysokým podílem výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Již od roku 2009 do roku 2011 probíhal v Německu projekt MeRegioMobil podporovaný spolkovou vládou. Cílem bylo zvýšit povědomí o výhodách chytrých sítí včetně koncepce V2G a rozšířit nabídku chytrých technologií na trhu. Technickými partnery v projektu byli mj. výrobce automobilů Opel a energetická společnost EnBW.

V roce 2009 na tokijském autosalonu představila automobilka Mitsubishi koncept inteligentního domu MiEV House. Elektroinstalace umí řídit využívání energie a zapojuje do systému napájení také elektromobil nebo plug-in hybrid (vozidlo kombinující spalovací motor a elektromotor s možností nabíjení akumulátoru ze sítě).

Výzkum Vehicle-To-Home automobilkami se urychlil v roce 2011. V Japonsku po přírodní katastrofě způsobené zemětřesením a následnou vlnou tsunami se ocitly řádově miliony domácností bez dodávek elektrické energie. Na elektromobil se začalo nahlížet jako možný zdroj energie pro nouzové napájení domácností. První produkční řešení využití vozidla jako zdroje ukázalo Mitsubishi v březnu 2012. Zařízení MiEV Power Box v sobě ukrývalo 1500W DC/AC měnič umožňující napájení domácích spotřebičů z akumulátoru elektromobilu Mitsubishi i-MiEV. Plně nabitý akumulátor s kapacitou 16 kWh vystačí k napájení průměrné japonské domácnosti po dobu jednoho dne.



**obr. 3-10 Elektromobil Mitsubishi i-MiEV s připojeným zařízením MiEV Power Box [19]**

V květnu 2012 Nissan představil systém LEAF to Home, umožňující obousměrný tok energie mezi domovní sítí a elektromobilem Nissan Leaf díky externímu měniči v nabíjecí stanici, která byla vyvinuta společností Nichicon. EV Power Station, jak je zařízení nazváno, se s vozem propojuje přes rychlonabíjecí zásuvku typu CHAdeMO a poskytuje výkon maximálně 6 kW. Od října 2014 je EV Power Station kompatibilní také s elektromobily značky Mitsubishi. Nabíjecí stanici lze pořídit pouze v Japonsku.



**obr. 3-11 Nabíjecí stanice EV Power Station k vozu Nissan Leaf pro V2H systém LEAF to Home [20]**

Čínská společnost BYD předvedla již v roce 2009 elektromobil s názvem e6. První vozy však byly svým majitelům dodány až v říjnu 2011. Nabíjení LiFePO<sub>4</sub> akumulátoru probíhá přednostně v období levného proudu – tato vlastnost byla pro automobilku klíčová při osazení vozu obousměrnou nabíječkou a funkcí V2G. Není však zřejmé, zda jimi vůz disponoval již od začátku výroby. První zmínka o přítomnosti této funkce se totiž datuje až k roku 2014. Vozy BYD se prodávají na vybraných trzích po celém světě, v Evropě mají zastoupení v Belgii, Nizozemí a Velké Británii.

Plug-in hybridní model Prius Prime japonského výrobce Toyota byl představen v březnu 2016. Vůz podporuje nouzové napájení domovních spotřebičů, více podrobností zatím není k dispozici. Toyota již od roku 2012 experimentovala se systémem V2H, ten však dosud nebyl implementován do produkčních vozů Toyota.

V Evropě se systémy využívající bidirektivní nabíjení prosazují stále pouze ve specifických regionálních projektech. V březnu 2016 bylo oznámeno zapojení francouzského Renaultu do projektu Smart Solar Charging, jehož prostřednictvím dojde k vytvoření chytré sítě v nizozemském městě Utrecht. Nově budovaná hustá síť nabíjecích stanic bude napájena solárními panely. Zároveň bude v první etapě spuštěna služba sdílení 150 kusů elektromobilu Renault Zoe pro obyvatele města. Druhá fáze zahrnuje vyvinutí systémů efektivního ukládání energie z obnovitelných zdrojů s pomocí akumulace do připojených vozidel a vyrovnávání výroby a spotřeby v síti.

### **3.5.2 Průzkum trhu s elektricky poháněnými vozidly**

V dubnu 2016 byly na českém trhu s novými osobními automobily dostupné pouze dva modely umožňující využití systému V2H. Český importér Nissanu nabízí model nižší střední třídy Leaf a MPV s názvem e-NV200 využívající stejný elektrický systém pohonu. Jelikož se v Evropě nenabízí nabíjecí stanice EV Power Station, je nutné pro zajištění obousměrného toku energie pořídit nabíjecí stojan jiného výrobce. V České republice není komerčně nabízen žádný vhodný produkt, v sousedním Německu je dostupný například stojan DIVA od společnosti e8energy.

Již před více než rokem byla v Česku ukončena dodávka vozidel Citroen C-Zero, Mitsubishi i-MiEV a Peugeot Ion se společným základem od Mitsubishi. Elektrický pohon všech tří verzí se od sebe neliší, tudíž funkce V2H je dostupná u všech modelů. Na trhu ojetých vozů jsou vozidla z této trojice běžně nabízena, v dubnu 2016 se v inzerci nacházelo celkem šest exemplářů.

Mitsubishi však na trhu s novými automobily nabízí plug-in hybrid Outlander PHEV. Tento vůz v japonské specifikaci disponuje schopností V2H a očekává se, že touto funkcí bude vybavena také evropská verze. Specifikace vozu pro rok 2017 nebyla k dubnu 2016 známá.

Nový model Prius Prime se dle vyjádření českého zastoupení Toyoty neplánuje prodávat v Evropě, tudíž výrobce na tomto kontinentu stále nemá vůz využívající systém V2H ve svém portfoliu. Zastoupením Toyoty bylo potvrzeno, že stávající model Prius Plug-in touto funkcionalitou nedisponuje.

Lídr evropského trhu s elektromobily, výrobce Renault, se rozhodl do České republiky elektrická vozidla nedovážet s odůvodněním, že zde není vyřešen pronájem akumulátorů a není vybudována servisní síť pro tento druh vozidel. Renault v Evropě nabízí kromě úspěšného malého vozu Zoe, který v budoucnu patrně bude V2G kompatibilní, ještě další tři modely osobních automobilů s elektrickým pohonem.

Automobilka Volkswagen se na českém trhu prezentuje celkem čtyřmi elektricky poháněnými vozidly. Jedná se o elektromobily e-up! a Golf E a plug-in hybridy Golf GTE a Passat GTE. Volkswagen plánuje uvést technologie V2G či V2H, nicméně prozatím nemá stanoven žádný termín jejich uvedení.

Tento závěr se vztahuje také na modelovou řadu e-tron automobilky Audi, patřící do koncernu Volkswagen.

Přestože výrobce automobilů BMW již má zkušenosti s V2G, jeho elektricky poháněné vozy i3 a i8 touto technologií nedisponují. Vývoji systémů pro interakci vozidla s okolím, obecně označovanými V2X, se věnuje Ford. Jeho elektromobil Focus Electric ovšem elektřinu z akumulátoru do sítě přenést neumí, navíc se do České republiky nedováží. Další v České republice nabízené elektromobily značky Kia Soul EV a Mercedes-Benz B Electric Drive funkci V2G nemají a její zavedení se prozatím neplánuje, totéž platí pro Hyundai Ioniq Electric, který bude uveden na trh teprve ve třetím čtvrtletí roku 2016.

**tab. 3-6 Přehled vybraných elektrických vozidel dostupných v Evropě**

značka	modely	prodej v ČR	V2G/V2H	v plánu
BMW	i3, i8	ano	ne	ne
BYD	e6	ne	ano	
Citroën	C-Zero	ukončen	ano	
Ford	Focus Electric	ne	ne	ne
Hyundai	Ioniq Electric	3. Q 2016	ne	ne
Kia	Soul EV	ano	ne	ne
Mercedes-Benz	B Electric Drive	ano	ne	ne
Mitsubishi	i-MiEV	ukončen	ano	
	Outlander PHEV	ano	ne	ano
Nissan	e-NV200, Leaf	ano	ano	
Peugeot	iOn	ukončen	ano	
Renault	Zoe	ne	ne	ano
	Fluence Z.E., Kangoo Z.E., Twizy	ne	ne	ne
Toyota	Prius Prime	ne	ano	
	Prius Plug-in	ano	ne	ne
Volkswagen	e-up!, Golf E, Golf GTE, Passat GTE	ano	ne	ano

### 3.5.3 Statistika nabíjení elektromobilu

K posouzení vlivu zapojení elektromobilu do hybridního napájecího systému rodinného domu je potřebné znát reálné energetické nároky na jeho provoz. Z tohoto důvodu bylo na přelomu března a dubna 2016 uskutečněno sledování provozních údajů elektromobilu Nissan Leaf ve vlastnictví Města Klimkovic. Vůz slouží jako taxislužba, jejímž provozovatelem je společnost Electric Park. Sběr statistických údajů probíhal v časovém horizontu devíti dnů, během kterých se elektrotaxi nabíjelo celkem sedmkrát. Výsledná statistika se nachází v Příloze A.

Sledovaný Nissan Leaf je vybaven palubní nabíječkou o výkonu 6,6 kW, prostřednictvím které trvá nabití z nuly na sto procent přibližně 4 hodiny. Tento způsob nabíjení se během sledovaného období využíval na nabíječkách v Klimkovicích a v areálu VŠB-TU Ostrava. Tyto nabíječky mají výstup s konektorem typu Mennekes o parametrech 400V, 32A.



obr. 3-12 Elektrotaxi Nissan Leaf připojené k nabíjecí stanici v Klimkovicích

Ve sledovaném období také proběhlo rychlonabíjení stejnosměrným proudem, a to celkem třikrát. Vůz je k tomu opatřen konektorem typu CHAdeMO. Nabíjecí stojany nacházející se u teplárny v Ostravě-Vítkovicích a u kancelářského komplexu Orchard v Ostravě-Fifejdách dokáží přes tento konektor dobít s výkonem až 50 kW, což výrazně zkracuje nabíjecí dobu. Dle záznamů se během 22 minut nabíjení zvýšil stav nabití baterie o 53%.

### 3.5.4 Určení využitelné kapacity akumulátorů elektromobilu

Oficiální technické údaje o vozu uvádějí celkovou kapacitu akumulátorů o hodnotě 24 kWh. Využitelná kapacita je však nižší, aby nedošlo k poškození akumulátorů hlubokým vybitím. Odhaduje se, že energetická rezerva představuje 10% z celkové kapacity. Výrobce akumulátorů, společnost Automotive Energy Supply Corporation, poskytuje následující údaje ke svým produktům.

tab. 3-7 Technické údaje k akumulátorům vozu Nissan Leaf [21]

Akumulátorová jednotka	AESC Battery Pack for EV
Technologie	LiMnO2
Články:	
Jmenovité napětí $U_{bc}$ (V)	3,75
Kapacita - při vybíjení proudem 0,3C (Ah)	32,5
Moduly:	
Počet článků	4
Řazení článků $n_{bcp}$ (-), $n_{bcs}$ (-)	2 paralelně, 2 sériově
Jednotka:	
Počet modulů $n_{bms}$ (-)	48
Řazení modulů	sériově

Jmenovité napětí akumulátorové jednotky pro elektromobil  $U_{bp}$  odpovídá:

$$U_{bp} = U_{bc} \cdot n_{bcs} \cdot n_{bms} = 3,75 \cdot 2 \cdot 48 = 360 \text{ V} \quad (3.24)$$



Dále se počítá kapacita jednotky v Ah za předpokladu vybíjecího proudu o hodnotě 0,3násobku hodnoty kapacity.

$$C_{bp} = C_{bc} \cdot n_{bcp} = 32,5 \cdot 2 = 65 \text{ Ah} \quad (3.25)$$

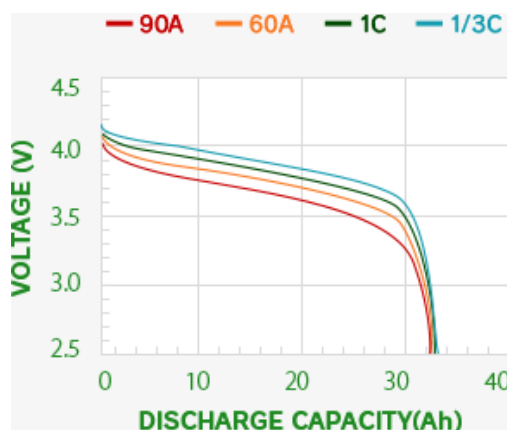
Hodnotu akumulační kapacity jednotky je třeba přepočítat na údaj v kWh:

$$E_{bp} = C_{bp} \cdot U_{bp} = 65 \cdot 360 \cdot 10^{-3} = 23,4 \text{ kWh} \quad (3.26)$$

Výsledná akumulační kapacita 23,4 kWh je nižší než deklarovaná. Nyní se vypočítá využitelná kapacita dle předpokladu, že maximální hloubka vybití akumulátoru elektromobilu  $DOD_{bp}$  je stanovena na 0,9.

$$E_{ev} = E_{bp} \cdot DOD_{bp} = 23,4 \cdot 0,9 = 21,06 \text{ kWh} \quad (3.27)$$

Vypočtená využitelná akumulační kapacita elektromobilu odpovídá výsledkům praktických zkoušek, které uvádějí kapacitu 21 kWh při teplotě 20 °C [22]. Kapacita akumulátoru je obecně závislá na teplotě, vybíjecím proudu a působení degradačních vlivů v čase. Závislost na vybíjecím proudu je zřejmá z vybíjecí charakteristiky článku na obr. 3-13. Plocha pod křivkou odpovídá disponibilní energii v článku. Charakteristika platí pro teplotu 25 °C a článek na počátku životnosti.



Vodorovná osa: vybitá kapacita článku (Ah), svislá osa: napětí článku (V)

obr. 3-13 Vybíjecí charakteristiky akumulátorového článku pro čtyři úrovně vybíjecího proudu [21]

### 3.5.5 Výpočet průměrné spotřeby elektrické energie elektromobilem

Způsob výpočtu průměrné spotřeby elektromobilu se podobá výpočtu spotřeby u běžného automobilu se spalovacím motorem. Pro uživatele je důležitá informace plnicího zařízení o množství doplněného provozního média, tudíž v případě elektromobilu rozhoduje údaj o dodané energii na displeji nabíjecího stojanu. Tento údaj určuje náklady na provoz vozidla. Druhým podstatným parametrem je počet ujetých kilometrů od posledního plnění změřený počítadlem ve vozidle. Ke stanovení spotřeby elektromobilu může posloužit také přepočet z údaje o stavu baterie v procentech. Údaj o průměrné spotřebě lze taktéž odečíst z palubního počítače, ovšem obecně se tento způsob měření nepovažuje za dostatečně přesný. Pro účely porovnání jsou dále použity oba výpočetní přístupy.



tab. 3-8 Tabulka hodnot pro výpočet průměrné spotřeby elektromobilu

číslo nabíjení $x$ (-)	původní stav baterie $E_{0x}$ (%)	nový stav baterie $E_{1x}$ (%)	ujetá vzdálenost $d_x$ (km)	odebraná energie ze stojanu $E_{sx}$ (kWh)	průměrná spotřeba dle stavu baterie $E_{pbx}$ (kWh/100 km)	průměrná spotřeba dle PP $E_{ppx}$ (kWh/100 km)
1	53	100	15,2	10,349	-	18,1
2	38	100	70,7	12,593	18,5	18,1
3	61	100	37,9	8,251	21,7	18,1
4	25	100	64,4	16,149	24,5	18,1
5	47	79	59,1	6,7	18,9	18,1
6	58	100	25,0	9,197	17,7	18,1
7	54	72	44,6	3,995	21,7	18,1
8	41	71	23,7	5,584	27,5	18,1
9	35	100	47,8	15,109	15,9	13,9
10	57	100	65,2	9,652	13,9	12,6
11	34	100	95,0	14,286	14,6	12,7
12	67	100	33,0	7,182	21,1	17,5
13	19	33	112,9	3,1	15,1	12,8
14	25	78	10,8	11,2	15,6	12,9
15	22	88	77,6	12,835	15,2	14,2
16	46	88	50,8	8,103	17,4	13,1
17	25	100	69,3	16,44	19,1	15,9

Výpočet průměrné spotřeby dle dobíjení za dobu sledování  $E_{ps}$ :

$$E_{ps} = \frac{\sum_{x=2}^{x_{max}} E_{sx}}{\sum_{x=2}^{x_{max}} d_x} \cdot 100 = \frac{160,4}{887,8} \cdot 100 = 18,07 \text{ kWh/100 km} \quad (3.28)$$

Výpočet průměrné spotřeby dle stavu baterie mezi dobíjením  $E_{pbx}$  obecně a pro  $x = 2$ :

$$E_{pbx} = \frac{(E_{1(x-1)} - E_{0x}) \cdot E_{ev}}{d_x} \quad (3.29)$$

$$E_{pb2} = \frac{(E_{11} - E_{02}) \cdot E_{ev}}{d_2} = \frac{(100 - 38) \cdot 21,06}{70,7} = 18,47 \text{ kWh/100 km} \quad (3.30)$$

Výpočet průměrné spotřeby dle stavu baterie za dobu sledování  $E_{pb}$ :

$$E_{pb} = \frac{\sum_{x=2}^{x_{max}} E_{pbx}}{x_{max} - 1} = \frac{298,4}{17 - 1} = 18,65 \text{ kWh/100 km} \quad (3.31)$$

Průměrná spotřeba elektromobilu vypočtená z údajů o energii dodané nabíjecím stojanem se považuje za referenční hodnotu. Průměrná spotřeba vypočtená metodou stavu baterie je ve srovnání s referenční hodnotou vyšší o 0,58 kWh, tedy o 3,21%. Měřicí metoda je ovšem nepřesná, přesnost

odečítání je jedno procento kapacity. V případě, kdy došlo k nabíjení po absolvování velmi krátké trasy, relativní odchylka dosáhla až 12,5%. V jiném vzorku již po absolvování vzdálenosti 25 km relativní odchylka klesla na 4,76%, což je pro orientační přehled o spotřebované energii přípustná hodnota. Lze také poukázat na fakt, že ukazatel procenta nabití akumulátorů není absolutně přesný. Dle zkušenosti řidičky elektrotaxi se však na něj dá při provozu spolehnout. Elektronika ukazatele k určení stavu patrně neměří pouze napětí článků, ale také odebíraný proud a hodnoty porovnává s vybíjecími charakteristikami článků, viz obr. 3-13.

Srovnání s průměrnou spotřebou naměřenou palubním počítačem je ovlivněno faktem, že k jeho pravidelnému nulování docházelo až od osmého nabíjení. Pozoruhodné je, že původní dlouhodobá průměrná spotřeba 18,1 kWh/100 km takřka odpovídá hodnotě určené z dobíjení během doby sledování. Z porovnání průměrů spotřeby z palubního počítače za měřené úseky s průměry spotřeby dle stavu baterie ovšem vyplývá, že palubní počítač ukazuje značně podprůměrné údaje o spotřebě. Shoda průměrů není relevantní, oba průměry jsou měřeny za odlišných podmínek a v rozdílném časovém úseku.

### 3.5.6 Spotřeba elektromobilu v domácnosti, vliv na roční bilanci domácnosti

Elektromobil by v případě pořízení nahradil vozidlo se spalovacím motorem a sloužil by místo něj jako druhý vůz v domácnosti. Stávající automobil každý pracovní den urazí 38 km na cestě do místa pracoviště a zpět, během víkendu pak celkem 40 km při jízdách za rodinou a na nákupy. Při znalosti nájezdu lze nyní vypočítat spotřebu elektrické energie elektromobilem za libovolný časový úsek. Ve výpočtu roční spotřeby elektromobilu se zohlední podmínky zimního provozu nárůstem spotřeby o 5% v tomto ročním období.

Spotřeba elektrické energie elektromobilem za pracovní den  $E_{ed}$ :

$$E_{ed} = d_d \cdot \frac{E_{ps}}{100} = 38 \cdot \frac{18,07}{100} = 6,867 \text{ kWh} \quad (3.32)$$

Spotřeba elektrické energie elektromobilem za víkendový den  $E_{ew}$ :

$$E_{ew} = \frac{d_w}{2} \cdot \frac{E_{ps}}{100} = \frac{40}{2} \cdot \frac{18,07}{100} = 3,614 \text{ kWh} \quad (3.33)$$

Spotřeba elektrické energie elektromobilem za týden  $E_{et}$ :

$$E_{et} = 5 \cdot E_{ed} + 2 \cdot E_{ew} = 5 \cdot 6,867 + 2 \cdot 3,614 = 41,56 \text{ kWh} \quad (3.34)$$

Výpočet dále probíhá obdobně jako stanovení roční spotřeby domácnosti v kap. 1.7. Oproti původnímu vzorci (1.11) se nyní použije týdenní hodnota spotřeby elektromobilu  $E_{et}$ , případně hodnota spotřeby elektromobilu za týden v zimě, kdy  $E_{etz} = 1,05 \cdot E_{et}$ .

$$E_{eo} = \frac{E_{et} \cdot N_o}{N_t} \quad (3.35)$$

Vypočtené spotřeby za jednotlivá roční období a celková roční spotřeba jsou uvedeny v tab. 3-9. Nakonec se spočítají jednotlivé měsíční spotřeby elektrické energie, aby bylo možné zjistit, v jaké míře elektromobil využije přebytky energie.

**tab. 3-9 Spotřeba elektrické energie elektromobilem během ročních období a celkem za rok**

roční období	<i>o</i> (-)	$E_{eto}$ (kWh)	$E_{eto}/E_{etj}$ (-)	$E_{eo}$ (kWh)
zima	z	43,64	1,05	567
podzim	p	41,56	1	528
jaro	j	41,56	1	546
léto	l	41,56	1	558
<b>celkem za rok <math>E_{er}</math> (kWh)</b>				<b>2200</b>

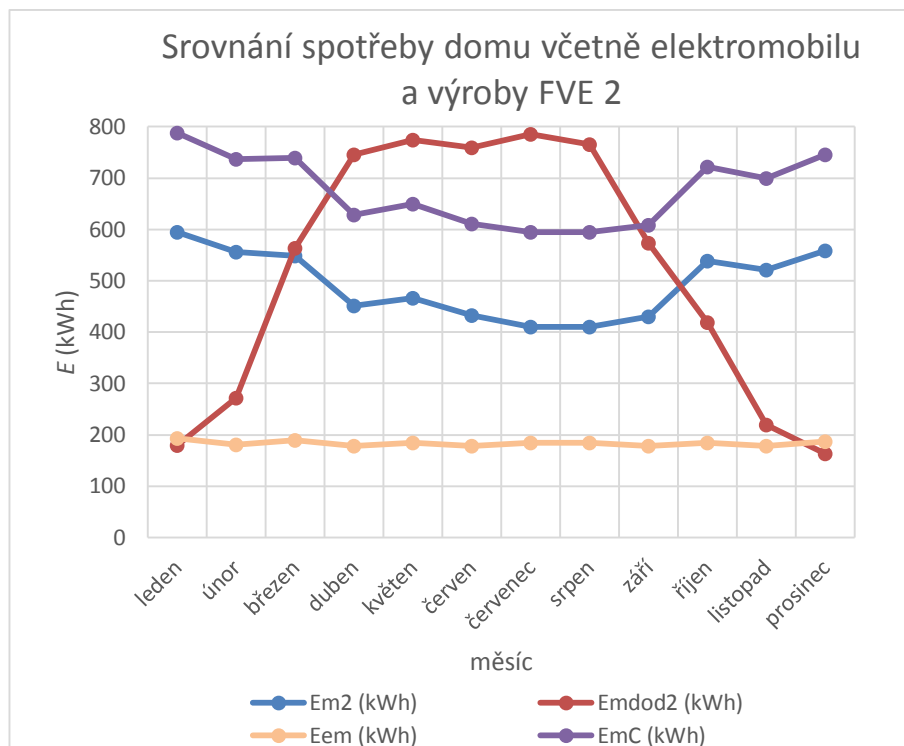
Výpočet spotřeby elektrické energie elektromobilem za měsíc  $E_{em}$  je podobný výpočtu měsíční spotřeby v rodinném domě a vychází ze vzorce (1.12).

$$E_{em} = \frac{E_{eto1} \cdot N_{m1} + E_{eto2} \cdot N_{m2}}{N_t} \quad (3.36)$$

**tab. 3-10 Měsíční bilance výroby a spotřeby v domácnosti při zapojení elektromobilu**

měsíc <i>m</i> (-)	$E_{m2}$ (kWh)	$E_{mdod2}$ (kWh)	$E_{em}$ (kWh)	$E_{mC}$ (kWh)
leden	594,8	179	193,3	788,1
únor	556,4	272	180,8	737,2
březen	549,1	564	190,0	739,1
duben	450,9	746	178,1	629,0
květen	466,0	775	184,1	650,0
červen	433,0	759	178,1	611,1
červenec	410,4	786	184,1	594,5
srpen	410,4	766	184,1	594,5
září	430,3	574	178,1	608,4
říjen	538,6	419	184,1	722,6
listopad	521,2	219	178,1	699,3
prosinec	558,5	163	187,3	745,9

V tab. 3-10 a pro názornost také na obr. 3-14 se nachází bilance měsíční spotřeby domácnosti s elektromobilem a výroby fotovoltaické elektrárny. Z bilance vychází, že s elektromobilem je domácnost soběstačná již jen v období od dubna do srpna. Přebytky energie jsou z větší části využity, do akumulátorů elektromobilu se průběžně uloží až 58,3% přebytků energie. Elektromobil tedy během roku spotřebuje asi 1070 kWh elektrické energie z domácí elektrárny. Tento podíl činí 48,6% z celkové spotřeby elektromobilu. Zbývajících zhruba 750 kWh vyrobených fotovoltaickou elektrárnou mezi dubnem a srpnem je možné využít spotřebiči nad rámec analýzy, případně tyto přebytky lze prodat do sítě.



obr. 3-14 Měsíční bilance výroby a spotřeby v domácnosti při zapojení elektromobilu

### 3.5.7 Dostupná akumulční kapacita, nabíjení elektromobilu

Z výpočtu spotřeby elektrické energie elektromobilem za den lze vyvodit, jak se připojením elektrického vozidla navýší celková akumulční kapacita v systému napájení rodinného domu. Předpokládá se připojení vždy ihned po návratu k domácímu přípojnému bodu. V pracovní dny se tak děje po návratu z místa pracoviště uživatele v čase okolo 16:30. Pokud nastane slunný letní den, v tuto dobu již nemusí být dostupná volná akumulční kapacita v domě. Připojením elektromobilu se kapacita navýší o stejné množství energie, jaké se elektromobilem spotřebuje během jízdy od posledního nabití. Zpravidla elektromobil vyjíždí ráno plně nabitý a tentýž den odpoledne se připojí do systému napájení domu. Akumulční kapacita se tak rovná spotřebě elektrické energie elektromobilem za posuzovaný den.

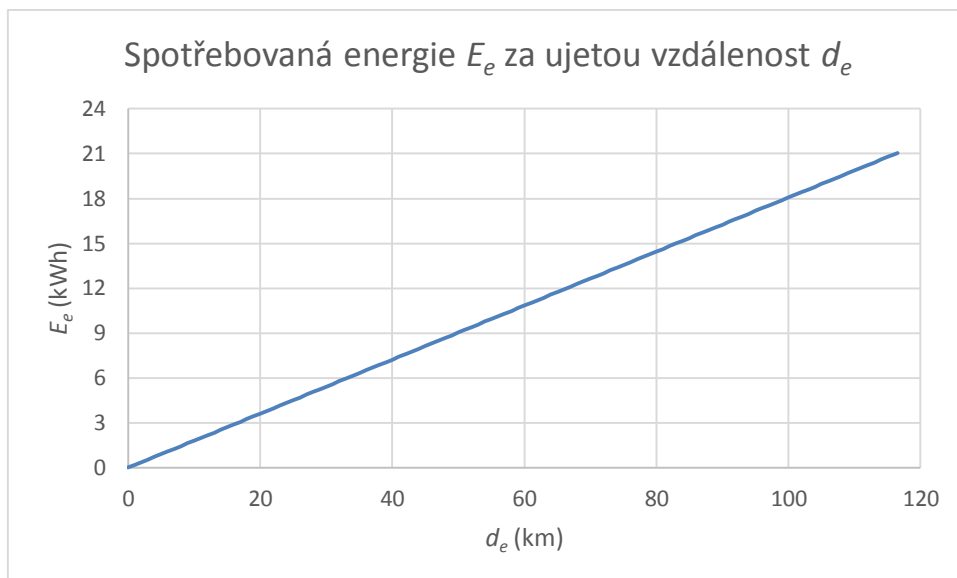
Dostupná akumulční kapacita v pracovní den  $E_{ad}$ :

$$E_{ad} = E_{ed} = 6,867 \text{ kWh} \quad (3.37)$$

Dostupná akumulční kapacita o víkendovém dni  $E_{aw}$ :

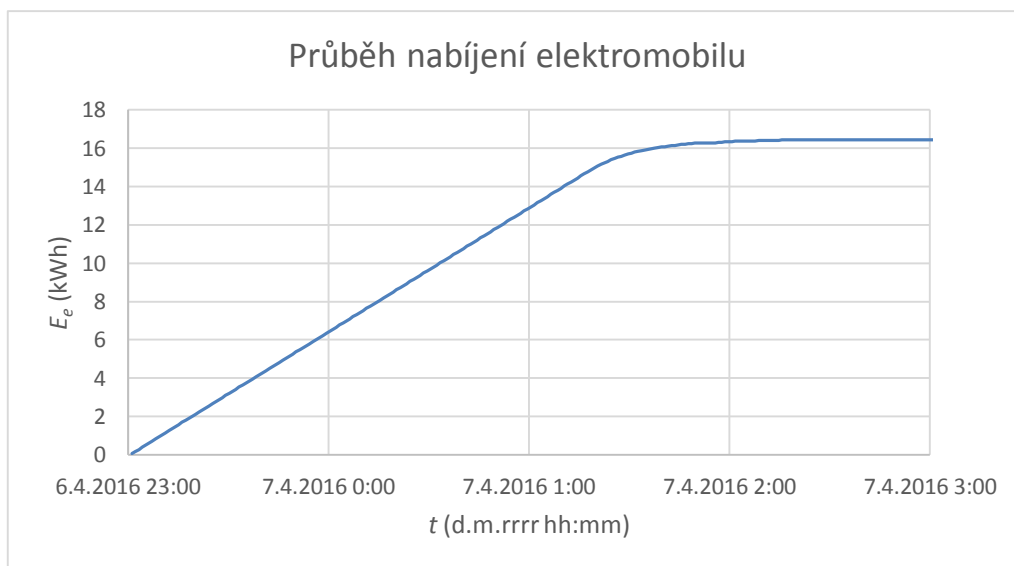
$$E_{aw} = E_{ew} = 3,614 \text{ kWh} \quad (3.38)$$

Pro případ využití elektromobilu k jiným cestám je na obr. 3-15 uvedena závislost spotřebované energie elektromobilem na ujeté vzdálenosti. Opět zde platí, že spotřebovaná energie z akumulátorů elektromobilu odpovídá dostupné akumulční kapacitě v momentu připojení elektromobilu do domovního systému napájení.



obr. 3-15 Graf závislosti spotřebované energie elektromobilem na ujeté vzdálenosti

Průběh akumulace do baterie elektromobilu odpovídá průběhu jejího nabíjení. V období sběru dat o nabíjení elektromobilu byl v jednom případě sledovaný vůz nabíjen na stanici v areálu Vysoké školy báňské – Technické Univerzity Ostrava. Nabíjecí stojan pro fakturační účely zaznamenává spotřebovanou energii v čase. Průběh naměřený při nabíjení sledovaného vozu prostřednictvím palubní nabíječky o výkonu 6,6 kW je na obr. 3-16.



obr. 3-16 Průběh nabíjení elektromobilu Nissan Leaf na nabíjecím stojanu v areálu VŠB-TU Ostrava

Z průběhu nabíjení je patrné, že elektromobil se od začátku nabíjí konstantním proudem, který odpovídá jmenovitému výkonu palubní nabíječky. Od stavu nabití 93% nabíjecí proud plynule klesá z důvodu dosažení určité úrovně napětí akumulátoru a přechodu do režimu regulovaného nabíjení. Nabíjecí proud je omezen na takovou hodnotu, kterou je akumulátor schopen přijímat. Při poklesu pod určitou hodnotu proudu se nabíjení ukončí. [23]

Vzhledem k navrhovaným komponentům systému napájení, konkrétně kvůli omezení výstupního výkonu měničů se pro nabíjení elektromobilu instaluje jednofázová zásuvka s napětím 230 V a jističem o jmenovitém proudu 16 A. To znamená, že výkon nabíjení je maximálně 3,6 kW. Tato hodnota je však k domácímu použití plně dostačující. Dle maximálního dostupného výkonu pro nabíjení 3,6 kW se zvolí vhodné vybavení vozu. Skutečný průběh nabíjení vozu se bude od průběhu na obr. 3-16 odlišovat pouze v absolutních hodnotách.

## 4 Výpočet předpokládaného ekonomického přínosu navrženého řešení

### 4.1 Investiční náklady

Ekonomická stránka návrhu do značné míry rozhoduje o tom, zda je projekt proveditelný. Investiční náklady zahrnují pořizovací cenu fotovoltaických panelů, hybridního měniče a případných akumulátorových jednotek rozšiřujících kapacitu úložiště energie. Dále je nutné přičíst náklady na montážní systém pro upevnění solárních panelů na střechu domu a také na komponenty chytré elektroinstalace. Nezanedbatelnou položkou v nákladech je cena za montáž fotovoltaických panelů na střechu společně s chytrou elektroinstalací, pro kterou se počítá s časovou náročností přibližně 12 hodin. Investiční náklady na systém podle základního návrhu jsou shrnuty v tab. 4-1. Všechny ceny v následujících tabulkách jsou uvedeny včetně DPH.

tab. 4-1 Investiční náklady na pořízení systému napájení dle základního návrhu

Investiční náklady - základní návrh			
položka	počet	jednotková cena (Kč)	cena včetně DPH (Kč)
fotovoltaický panel BenQ GT-PM060M02 270 Wp	15	5 179	77 685
hybridní měnič Fitcraft Energy Savebox Home SBH 2,6 - 7,5 - 3,5	1	234 740	234 740
akumulátorová jednotka Fitcraft Energy LA3016	3	30 250	90 750
montážní systém K2 SolidRail	1	17 037	17 037
chytrá elektroinstalace ABB ego-n Plus	1	126 671	126 671
běžný elektroinstalační materiál	1	1 000	1 000
Montáž (h)	12	1 000	12 000
doprava	1	5 000	5 000
<b>celkem</b>			<b>564 883</b>

Náklady na pořízení rozšířeného systému napájení jsou uvedeny v tab. 4-2. Oproti základnímu návrhu se liší typem a počtem fotovoltaických panelů a přidává druhou jednotku hybridního měniče. Kvůli vyššímu počtu panelů jsou větší náklady na prvky montážního systému i samotnou montáž, jelikož se počítá s prodloužením doby montáže na 16 hodin. Nepatrné navýšení prostředků na elektroinstalační materiál si vyžádá připojení druhé jednotky měniče a zavedení zásuvky pro nabíjení elektromobilu.

V rozšířeném návrhu se počítá s pořízením bidirektivního nabíjecího stojanu pro elektromobil. Jak již bylo zmíněno, tato zařízení nejsou na trhu příliš dostupná. Základní verze stanice DIVA je rozšířená o akumulátor s kapacitou 10 kWh. Vzhledem k tomu, že nabíjecí stanice patří k tomu nejlepšímu na trhu nabíjecích stojanů, německý výrobce si jej cení na 46 000 EUR, tedy v přepočtu přibližně 1,25 milionu Kč. Tato varianta nedává ekonomický smysl. Proto bylo přistoupeno k nabíjení prostřednictvím standardní elektrické zásuvky o napětí 230 V a jmenovitém proudu 16 A. Nemožnost

dodat elektrickou energii do domácí sítě nijak neomezuje funkčnost navrženého systému napájení, pouze může dojít k mírnému zvýšení odběru elektrické energie z distribuční sítě.

tab. 4-2 Investiční náklady na pořízení systému napájení dle rozšířeného návrhu

Investiční náklady - rozšířený návrh			
položka	počet	jednotková cena (Kč)	cena včetně DPH (Kč)
fotovoltaický panel BenQ GT-PM060M02 Plus 295 Wp	22	6 290	138 380
hybridní měnič Fitcraft Energy Savebox Home SBH 2,6 - 7,5 - 3,5	2	234 740	469 480
montážní systém K2 SolidRail	1	22 418	22 418
chytrá elektroinstalace ABB ego-n Plus	1	126 671	126 671
běžný elektroinstalační materiál	1	1 500	1 500
Montáž (h)	16	1 000	16 000
doprava	1	5 000	5 000
<b>celkem</b>			<b>779 449</b>

Porovnání obou variant návrhů proběhne dále v kap. 4.4.

## 4.2 Posouzení možnosti dotace z programu Nová zelená úsporám

Ministerstvo životního prostředí v roce 2015 vypsalotační program Nová zelená úsporám (NZÚ) na období 2016–2021. Cílem této části je posoudit, zda je možné požádat o podporu v podprogramu pro rodinné domy v oblasti C - efektivního využití zdrojů energie. V rámci oblasti C se poskytují dotace:

- na výměnu neekologického zdroje tepla za efektivní ekologicky šetrné zdroje nebo napojení na soustavu zásobování teplem s vyšším než 50% podílem obnovitelných zdrojů energie
  - na výměnu elektrického vytápění za systémy s tepelným čerpadlem
  - na instalaci solárních termických a fotovoltaických systémů
  - na instalaci systémů nuceného větrání se zpětným získáváním tepla z odpadního vzduchu.
- [24]

Žádat o dotaci je možné před zahájením, v průběhu nebo po dokončení realizace podporovaných opatření. Celková výše podpory na jednu žádost je omezena na max. 50 % řádně doložených způsobilých výdajů a je vyplácena až po řádném dokončení realizace podporovaných opatření. Maximální výše podpory pro jednoho žadatele je v rámci této výzvy stanovena na 5 mil. Kč. [24]

Podoblast podpory, do které se navrhovaný systém jak v základní, tak v rozšířené verzi řadí, je označen C.3.6 - Solární FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem  $\geq 3\,000 \text{ kWh.rok}^{-1}$ . Obecná výše podpory pro tuto podoblast je až 100 000 Kč. Dotace na realizaci opatření v rodinných domech v Moravskoslezském a Ústeckém kraji je pro tuto podoblast zvýšena o 10 %. Celkem je tedy možné získat až 110 000 Kč investičních výdajů zpět.



Pro zmiňovanou podoblast podpory C.3.6 platí, že je podporována instalace fotovoltaických systémů do dokončených rodinných domů a do novostaveb rodinných domů, a to včetně rozestavěných. Dále platí omezení, že podpora na solární fotovoltaické systémy v podoblasti C.3.6 se poskytuje pouze na systémy připojené k distribuční soustavě po 1. 1. 2016 a maximální instalovaný výkon fotovoltaického systému nesmí být vyšší než 10 kWp. Oba tyto požadavky jsou navrhovanými variantami splněny. V tab. 4-3 se hodnotí technické požadavky, které je nutné splnit pro získání dotace.

tab. 4-3 Technické podmínky získání dotace z programu Nová zelená úsporám

<b>Technické podmínky získání dotace z NZÚ</b> <b>Podoblast podpory C.3.6 - Solární FV systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem <math>\geq 3\,000\text{ kWh.rok}^{-1}</math></b>				
Sledovaný parametr	Označení (jednotky)	Požadavek	Základní návrh	Rozšířený návrh
Celkový využitelný energetický zisk ze systému	$Q_{ss,u}$ (kWh.rok <sup>-1</sup> )	$\geq 3\,000$	3 885	6222
Minimální míra využití vyrobené elektřiny pro krytí spotřeby v místě výroby	(%)	70	94,3	87,9
Akumulace přebytků energie do teplé vody	-	Možná	Ano	Ano
Minimální měrný objem zásobníku teplé vody nebo akumulární nádrže	(l.kWp <sup>-1</sup> )	-	39,5	24,7
Akumulace přebytků energie do akumulátorů	-	Povinná	Ano	Ano
Minimální měrná kapacita akumulátorů	(kWh.kWp <sup>-1</sup> )	1,75	2,96	2,31
<b>Splněny všechny technické podmínky</b>			<b>Ano</b>	<b>Ano</b>

Postup při určení jednotlivých hodnocených parametrů systému napájení je následující: celkový využitelný energetický zisk ze systému  $Q_{ss,u}$  odpovídá celkové roční vyrobené energii, uvedené v tab. 3-1 pro základní návrh a v tab. 3-2 pro rozšířený návrh. Minimální míra využití energie pro krytí v místě spotřeby  $k_{rv}$  se určí pomocí vztahu (4.1):

$$k_{rv} = \frac{Q_{ss,u} - \sum E_{mp+}}{Q_{ss,u}} \cdot 100 \quad (4.1)$$

kde:  $k_{rv}$  je míra využití energie pro krytí v místě spotřeby (%)  
 $Q_{ss,u}$  je celkový využitelný energetický zisk ze systému (kWh.rok<sup>-1</sup>)  
 $E_{mp+}$  je kladná energetická bilance systému za měsíc  $m$ , pokud pro  $m$  existuje (kWh)

Pro základní návrh se energetická bilance systému za měsíc  $E_{mp1}$  počítá jako rozdíl energie vyrobené za měsíc  $E_{mdod1}$  a energie spotřebované za měsíc  $E_{m1}$ , jak je znázorněno ve vzorci (4.2):

$$E_{mp1} = E_{mdod1} - E_{m1} \quad (4.2)$$

Nyní lze vypočítat míru využití energie pro krytí spotřeby v systému podle základního návrhu  $k_{rv1}$ :

$$k_{rv1} = \frac{Q_{ss,u1} - \sum E_{mp+1}}{Q_{ss,u1}} \cdot 100 = \frac{3885 - 222,2}{3885} \cdot 100 = 94,3\% \quad (4.3)$$

Pro rozšířený návrh je nutné ve výpočtu energetické bilance systému za měsíc  $E_{mp2}$  použít celkovou energii spotřebovanou za měsíc  $E_{mc}$ . Ta se odečte od energie vyrobené za měsíc  $E_{mdod2}$ .

$$E_{mp2} = E_{mdod2} - E_{mc} \quad (4.4)$$

Nyní se vypočítá míra využití energie pro krytí spotřeby v systému podle rozšířeného návrhu  $k_{rv2}$ .

$$k_{rv2} = \frac{Q_{ss,u2} - \sum E_{mp+2}}{Q_{ss,u2}} \cdot 100 = \frac{3885 - 752,9}{3885} \cdot 100 = 87,9\% \quad (4.5)$$

Výpočet měrného objemu zásobníku teplé vody pro základní variantu  $v_{tv1}$  proběhne podle vztahu (4.6), analogický vztah platí pro rozšířený návrh.

$$v_{tv1} = \frac{V_{eb}}{P_{fve1}} \cdot 10^6 = \frac{0,16}{4050} \cdot 10^6 = 39,5 \text{ l} \cdot \text{kWp}^{-1} \quad (4.6)$$

Příklad výpočtu měrné kapacity akumulátorů je uveden pro rozšířenou variantu  $c_{a2}$ , a to ve vztahu (4.7), analogicky se počítá měrná kapacita akumulátorů pro základní návrh.

$$c_{a2} = \frac{C_{a2}}{P_{fve2}} \cdot 10^3 = \frac{15}{6490} \cdot 10^3 = 2,31 \text{ kWh} \cdot \text{kWp}^{-1} \quad (4.7)$$

Jelikož jsou oběma variantami splněny všechny rámcové podmínky pro získání dotace, a to v maximální výši, v celkovém zhodnocení se od investičních nákladů odečte částka 110 000 Kč.

### 4.3 Náklady na dodanou energii

K porovnání ročních nákladů na dodanou energii se využije kalkulátor na stránkách Energetického regulačního úřadu. Vychází se z neměnných parametrů:

- období: 2016
- typ odběru: domácnost
- území: Severomoravský kraj
- jistič: 3x25 A
- dodavatel elektrické energie: ČEZ Prodej, s.r.o.

V současné době je využíván tarif D25d pro elektrický ohřev vody, stejný tarif se využije i pro základní návrh. Využívaný produkt dodavatele se nazývá D-Akumulace 8 – Comfort. Z časového rozložení nízkého tarifu (NT) a vysokého tarifu (VT) během dne lze vypočítat podíl spotřeby v NT a VT. Z dat pro analýzu spotřeby v kap. 1 bylo stanoveno, že 57,2% energie se spotřebuje ve VT a 42,8%

v NT. Stejné rozdělení se předpokládá i pro navrhovanou základní variantu. Podle těchto hodnot je rozpočítána celková roční spotřeba elektrické energie z distribuční sítě.

V rozšířeném návrhu se počítá s pořízením elektromobilu. Tím vzniká nárok na výhodnější sazbu D27d pod produktovým názvem D-Elektromobilita - eTarif Fix. Z časového rozdělení VT a NT vyplývá výhodnější poměr, kdy ve VT se spotřebuje 54,4% elektrické energie, v NT je to 45,6%.

V obou návrzích vzniká v průběhu roku přebytek energie, který se prodává do distribuční sítě a je tedy zdrojem příjmu, který je také nutné zohlednit. Pro výpočet se použije orientační výkupní cena přebytků  $N_z$  ve výši 400 Kč/MWh.

Vzhledem k zahrnutí energie potřebné k nabití elektromobilu je nutné přistoupit k započtení nákladů na palivo stávajícího automobilu. Předpokládá se průměrná spotřeba nafty  $E_p$  o hodnotě 6 l/100 km. Z denních nájezdů lze odvodit orientační roční nájezd  $d_r$  o hodnotě 12 000 km. Průměrná cena nafty v České republice  $N_{pl}$  je v dubnu 2016 přibližně 26,10 Kč/l. Z těchto údajů se náklady na palivo  $N_p$  vypočítají dle vzorce (4.8):

$$N_p = \frac{d_r \cdot E_p \cdot N_{pl}}{100} = \frac{12\,000 \cdot 6 \cdot 26,1}{100} = 18\,792 \text{ Kč} \quad (4.8)$$

Výsledné roční náklady na provoz pro jednotlivé varianty a rozdíl nákladů oproti stávajícímu stavu, který pomůže určit dobu návratnosti investice, jsou uvedeny v tab. 4-4. V případě základního návrhu se roční rozdíl nákladů stanoví bez uvažování stávajících nákladů na palivo, tj. pouze ze stávající celkové roční platby za dodávku elektrické energie.

tab. 4-4 Roční provozní náklady jednotlivých variant a rozdíly oproti stávajícímu stavu

Varianta	Stávající stav	Základní návrh	Rozšířený návrh
Sazba	D25d	D25d	D27d
Roční spotřeba ve VT (kWh)	3 385	1 290	1 516
Roční spotřeba v NT (kWh)	2 535	967	1 135
Celková roční platba (Kč) [25]	23 056	10 474	11 188
Roční přebytek energie (kWh)	-	222	753
Zisk za prodej energie (Kč)	-	89	301
Náklady na palivo (Kč)	18 792	-	-
Celkové roční náklady (Kč)	41 848	10 385	10 887
<b>Roční rozdíl nákladů (Kč)</b>		<b>12 671</b>	<b>30 961</b>

#### 4.4 Celkové finanční zhodnocení

Hodnocení návratnosti se provede s ohledem na odhadovanou dobu 20 let, po kterou napájecí systém nebude vyžadovat větší investice. Cena elektrické energie pro domácnosti v České republice podle údajů Eurostatu za posledních 5 let klesla o 3,8%. Předpokládá se, že tento trend není dlouhodobě udržitelný a přistupuje se k zachování stejné ceny po celé posuzované období 20 let. Další zjednodušení

výpočtu spočívá v zanedbání vlivu inflace. Míra inflace je podle údajů Českého statistického úřadu za roky 2014 a 2015 na úrovni pouhých 0,4%, resp. 0,3%. [26]

tab. 4-5 Celkové finanční zhodnocení variant a návratnost investice

<b>Celkové finanční zhodnocení</b>	<b>Základní návrh</b>	<b>Rozšířený návrh</b>
Investiční náklady (Kč)	564 883	779 449
Dotace z programu Nová zelená úsporám (Kč)	-110 000	-110 000
Náklady na dodávku elektrické energie za 20 let (Kč)	207 702	217 737
<b>Celkové náklady na zajištění elektrické energie na 20 let (Kč)</b>	<b>662 585</b>	<b>887 186</b>

tab. 4-6 Návratnost investice

<b>Návratnost investice</b>	<b>Základní návrh</b>	<b>Rozšířený návrh</b>
Investiční náklady (Kč)	564 883	779 449
Dotace NZÚ (Kč)	-110 000	-110 000
Roční úspora nákladů (Kč)	-12 671	-30 961
<b>Návratnost investice (rok)</b>	<b>35,9</b>	<b>21,6</b>

Návratnost investic pro oba návrhy vychází za hranicí, která byla stanovena jako doba, kdy bude provoz systému s vysokou pravděpodobností bezproblémový. Rozšířený návrh tuto hranici překračuje pouze o 1,6 roku, při vhodných podmínkách provozu zařízení tedy může být pořízení takového systému rentabilní. Do procesu rozhodování o provedení investice vstupují také subjektivní hodnotový žebříček a priority investora. Zapojení chytré elektroinstalace umožní zvýšit komfort členů domácnosti díky automatizovanému ovládání osvětlení, žaluzií, či odloženému startu spotřebičů. Dominantní roli však hraje subjektivní vnímání uskutečněné ekologizace provozu, vlastnictví zařízení plně využívajících moderní technologie apod. Z tohoto pohledu může být přijatelná také základní varianta návrhu, a to i přesto, že se vložená investice za dobu životnosti zařízení pravděpodobně nevrátí.

Do finančního zhodnocení nebyly zahrnuty náklady na koupi elektromobilu. Tak jako u běžného automobilu jsou pořizovací náklady na elektromobil velmi variabilní a nebylo by možné provést relevantní srovnání.

## 5 Závěr

Cílem diplomové práce bylo navrhnout energetickou koncepci bytového komplexu s využitím obnovitelných zdrojů energie. Pro vlastní zpracování práce byl vybrán rodinný dům v Klimkovicích, jehož majitelé uvažují o ekologizaci provozu domácnosti, ovšem za předpokladu zachování dostatečného komfortu. Byly připraveny dvě varianty návrhu, z nichž jedna z důvodu perspektivního zájmu majitelů o elektromobilitu obsahuje posouzení vlivu elektromobilu při integraci do systému napájení.

Základem pro návrh systému bylo stanovení množství energie, které je nutné dodat spotřebičům za určitý časový úsek. Bylo provedeno týdenní měření celkové spotřeby v objektu ve třech ročních obdobích, v zimním období se navíc uskutečnilo měření jednotlivých spotřebičů v týdenním, či krátkodobém horizontu. Data byla analyzována z hlediska optimalizace rozložení příkonu v čase nebo možnosti úspor elektrické energie. Z naměřených údajů byl sestaven roční profil spotřeby elektrické energie v rodinném domě.

Návrh zdroje vycházel ze skutečnosti, že do posuzovaného objektu již byla zavedena elektrická přípojka nízkého napětí. Proto byl zvolen hybridní systém napájený fotovoltaickou elektrárnou a s možností ostrovního provozu díky akumulaci elektrické energie. Účelem výroby je pokrýt spotřebu v domácnosti pouze ve vybraných měsících, zajištění energetické soběstačnosti také v zimním období jen pomocí fotovoltaiky by obnášelo příliš vysoké investiční náklady. K návrhu fotovoltaické elektrárny byla využita webová aplikace PVGIS.

Porovnání dvou variant návrhu přineslo odlišné přístupy. Základní varianta návrhu vycházela z předpokladu, že není výhodné investovat do instalovaného výkonu a vyrábět vysoké přebytky elektrické energie, které by se prodávaly do sítě za velmi nízkou cenu. Skutečnost je odlišná, jelikož při vyšší výrobě v podzimním a zimním období dojde ke snížení dodávky energie, čímž taktéž klesnou náklady a navíc investovaná částka se v čase navrací. Tento závěr ovšem platí pouze za předpokladu, že pro zvýšení instalovaného výkonu je nutné investovat pouze do fotovoltaického panelu.

Rozšířená varianta návrhu přinesla maximalizaci instalovaného výkonu fotovoltaické elektrárny. Vznikající přebytky pak z převážné části využil uvažovaný elektromobil. Provozní data elektromobilu byla získána sběrem údajů v průběhu devíti dnů provozu elektrického vozidla taxislužby.

Rozšířená koncepce se ukázala jako ekonomicky výhodnější. Elektromobil má v daném případě využití energie z obnovitelných zdrojů přibližně čtvrtinové náklady na elektrickou energii v porovnání s náklady na palivo u automobilu se vznětovým spalovacím motorem. Díky úspoře nákladů na provoz vozidla činí návratnost navrhovaného systému 21,6 let, tedy mírně za předpokládanou hranici doby provozu systému bez vyžádání větších investic.

V rámci rozšířené varianty byla prověřována také možnost využití obousměrného toku energie mezi elektromobilem a domem, tedy technologie s názvem Vehicle-To-Home, pro účel zvýšení lokálního využití elektrické energie vyrobené fotovoltaickou elektrárnou. Podle závěrů šetření v současnosti není možné obousměrný tok energie v podmínkách domácnosti realizovat z důvodu

nedostatku komerčně dostupných řešení obousměrných nabíjecích stojanů za odůvodnitelnou cenu, přestože elektromobily se schopností obousměrného nabíjení jsou na českém trhu k dispozici.

Možným dalším rozšířením této práce je studie, jak by byla navržená koncepce ovlivněna výměnou plynového kotle za tepelné čerpadlo kombinované s funkcí chlazení. Tímto krokem by došlo k dalšímu snížení závislosti na fosilních palivech a omezení lokálních emisí, v maximální míře by byly využity přebytky z navržené fotovoltaické elektrárny a v neposlední řadě by se zvýšil komfort v domácnosti. Nevýhodou tohoto řešení by ovšem byla zvýšená závislost na dodávkách elektrické energie, a to zejména v zimním období.

## Seznam použité literatury

1. **RD Rýmařov s.r.o.** SOLO Line 79-Z1/38°kk +1M. *Projektová dokumentace rodinného domu*. Rýmařov : RD Rýmařov s.r.o., 2008.
2. **Haselhuhn, Ralf.** *Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu*. 1. české vyd. Ostrava : Nakladatelství HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
3. *Energetická koncepce rodinného domu v ostrovním provozu*. **Mišák, Stanislav a Prokop, Lukáš**. Brno : University of Technology, Faculty of Electrical Engineering and Communication, Department of Electrical Power Engineering, 2012, Proceedings of the 13th International Scientific Conference Electric Power Engineering 2012, Sv. 2, stránky 753-758. ISBN 978-80-214-4514-7.
4. **Puk, Jaromír.** Plazma vs. LCD vs. LED: spotřeba elektrické energie – AVmania.cz. *AVmania.cz – Audio, video, domácí kino*. [Online] Mladá fronta a.s., 29. Červen 2011. [Citace: 22. Březen 2016.] <http://avmania.e15.cz/plazma-vs-lcd-vs-led-spotreba-elektricke-energie>.
5. **Laughlin, Andrew.** LED vs LCD vs plasma TV - Televisions reviews - TV and home entertainment - Which? Tech. *Reviews and expert advice from Which?* [Online] Which? [Citace: 22. Březen 2016.] <http://www.which.co.uk/reviews/televisions/article/led-vs-lcd-vs-plasma-tv>.
6. **Sony ČR.** Sony Support. *Sony ČR | Nejnovější technologie a novinky | Elektronika | Zábava | Sony CZ*. [Online] Sony Europe Limited. [Citace: 22. Březen 2016.] <https://www.sony.cz/support/cs/content/cnt-specs/KDL-55W815B/list>.
7. **Sokanský, Karel.** *Světelná technika*. Vyd. 1. Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04941-9.
8. **Česká solární s.r.o.** Česká solární - Jak prodat elektřinu - solární elektrárny na klíč, solární panely, solární články, solární energie. *Solární elektrárny - Česká solární - solární elektrárny na klíč, solární panely, solární články, solární energie*. [Online] © 2008-2015. [Citace: 12. Duben 2016.] [http://www.ceska-solarni.cz/jak\\_prodat\\_elektrinu.php](http://www.ceska-solarni.cz/jak_prodat_elektrinu.php).
9. **Mastný, Petr, Drápela, Jiří a Mišák, Stanislav.** *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha : České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
10. **Murtinger, Karel, Beranovský, Jiří a Tomeš, Milan.** *Fotovoltaika. Elektřina ze slunce*. Vyd. 2. Brno : ERA, 2008. ISBN 978-80-7366-133-5.
11. **ostrovni-elektrarny.cz.** *Ostrovni off-grid fotovoltaické elektrárny a systémy, FV panely, regulátory MPPT, baterie, měniče*. [Online] ostrovni-elektrarny.cz, Ing. Martin Kolařík. <http://www.ostrovni-elektrarny.cz/>.
12. **European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy, Renewable Energy Unit.** JRC's Institute for Energy and Transport - PVGIS - European Comission. *EUROPA* -

*European Union website, the official EU website.* [Online] European Union, © 1995-2016. [Citace: 11. Duben 2016.] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgris/>.

13. *Modeling of hybrid renewable energy systems.* **Deshmukh, M. K. a Deshmukh, S. S.** 2008, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Sv. 12, stránky 235-249. DOI: 10.1016/j.rser.2006.07.011. ISSN 13640321.

14. **BenQ Solar.** Download Center. *BenQ Solar.* [Online] 2015. [Citace: 23. Duben 2016.] [http://www.benqsolar.com/download.php?file=..%2Fupload%2Fmedia%2Fbenqsolarfile%2Fdatasheet%2FGT-PM060M02\\_ds\\_en.pdf](http://www.benqsolar.com/download.php?file=..%2Fupload%2Fmedia%2Fbenqsolarfile%2Fdatasheet%2FGT-PM060M02_ds_en.pdf).

15. **Fitcraft Energy s.r.o.** Fitcraft Energy - akumulace energie Savebox HOME. *Fitcraft Energy - akumulace energie Fitcraft Energy - SaveBox - Velkokapacitní akumulátory pro ostrovní systémy.* [Online] Fitcraft Energy s.r.o., 2016. [Citace: 23. Duben 2016.] <http://www.fitcraftenergy.cz/?project=savebox-home&lang=cs>.

16. **K+K, spol. s r.o.** 200000130.jpg. *Kkrenewableenergy-cz.* [Online] [Citace: 24. Duben 2016.] <http://files.kkrenewableenergy.cz/200000036-6fd4f70cad/200000130.jpg>.

17. **Dorazil, Martin.** Accupack LA3016 – bezpečnost především. *Fitcraft Energy - akumulace energie Fitcraft Energy - SaveBox - Velkokapacitní akumulátory pro ostrovní systémy.* [Online] Fitcraft Energy s.r.o., 7. Prosinec 2014. [Citace: 24. Duben 2016.] <http://www.fitcraftenergy.cz/?p=60&lang=cs>.

18. **Fitcraft Energy s.r.o.** LiFePO4\_datasheet\_2015-01-11\_EN.pdf. *Kkrenewableenergy-cz.* [Online] [Citace: 24. Duben 2016.] [http://files.kkrenewableenergy-cz.webnode.cz/2000000929-e33c7e5321/LiFePO4\\_datasheet\\_2015-01-11\\_EN.pdf](http://files.kkrenewableenergy-cz.webnode.cz/2000000929-e33c7e5321/LiFePO4_datasheet_2015-01-11_EN.pdf).

19. **Mitsubishi Motors Corporation.** Press Release | News. Events | Mitsubishi Motors. *Mitsubishi Motors.* [Online] 9. Březen 2012. [Citace: 25. Duben 2016.] [http://www.mitsubishi-motors.com/publish/pressrelease\\_en/corporate/2012/news/detail0834.html](http://www.mitsubishi-motors.com/publish/pressrelease_en/corporate/2012/news/detail0834.html).

20. **Nissan Motor Co., Ltd.** NISSAN | Nissan and Nichicon to Launch the "LEAF To Home" Power Supply System with Nichicon "EV Power Station". *Nissan Motor Global Corporation Website.* [Online] 30. Květen 2012. [Citace: 25. Duben 2016.] [http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2012/\\_STORY/120530-01-e.html](http://www.nissan-global.com/EN/NEWS/2012/_STORY/120530-01-e.html).

21. **Automotive Energy Supply Corporation.** Cell, Module, and Pack for EV Applications. *Automotive Energy Supply Corporation.* [Online] Automotive Energy Supply Corporation, 2013. [Citace: 26. Duben 2016.] [http://www.eco-aesc-lb.com/en/product/liion\\_ev/](http://www.eco-aesc-lb.com/en/product/liion_ev/).

22. **Williams, Tony.** Real World Test: 2013 Nissan LEAF Range vs 2012 Nissan LEAF Range (w/Video) - InsideEVs. *InsideEVs - Electric Vehicle News, Reviews, and Reports.* [Online] InsideEVs, 15. Duben 2013. [Citace: 26. Duben 2016.] <http://insideevs.com/real-world-test-2013-nissan-leaf-range-vs-2012-nissan-leaf-range/>.



23. **Cenek, Miroslav.** *Akumulátory od principu k praxi*. Praha : FCC Public, 2003. ISBN 80-86534-03-0.

24. **Státní fond životního prostředí České republiky.** 3. výzva pro rodinné domy - Nová zelená úsporám. *Nová zelená úsporám*. [Online] Státní fond životního prostředí České republiky. [Citace: 28. Duben 2016.] <http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-o-dotaci/rodinne-domy/3-vyzva-rodinne-domy/>.

25. **Energetický regulační úřad.** ERÚ - Porovnání nabídek dodavatelů elektřiny. *ERÚ - Domovská stránka*. [Online] Cygni Software, a.s., 25. Duben 2016. [Citace: 28. Duben 2016.] <http://www.eru.cz/cs/informacni-centrum/zmena-dodavatele/kalkulatory/porovnani-nabidek-dodavatelu-elektriny>.

26. **Český statistický úřad.** Inflace - druhy, definice, tabulky | ČSÚ. *Český statistický úřad* | ČSÚ. [Online] Český statistický úřad, 11. Duben 2016. [Citace: 28. Duben 2016.] [https://www.czso.cz/csu/czso/mira\\_inflace](https://www.czso.cz/csu/czso/mira_inflace).

## **Seznam příloh**

**Příloha A – Statistika nabíjení elektromobilu Nissan Leaf – Elektrotaxi Klimkovic – str. 75**

**Příloha A – Statistika nabíjení elektromobilu Nissan Leaf – Elektrotaxi Klimkovice**

datum	čas - začátek nabíjení	stav baterie před (%)	čas - konec nabíjení	stav baterie po (%)	ujetá vzdálenost (km)	průměrná spotřeba dle PP (kWh/100 km)	místo nabíjení	odebraná energie ze stojanu (kWh)
30. 3.	15:10	53	18:00	100	15,2	18,1	ZUŠ Klimkovice	10,349
31. 3.	23:50	38	8:20	100	70,7	18,1	ZUŠ Klimkovice	12,593
1. 4.	13:25	61	1:10	100	37,9	18,1	ZUŠ Klimkovice	8,251
2. 4.	3:00	25	8:15	100	64,4	18,1	ZUŠ Klimkovice	16,149
2. 4.	16:45	47	17:05	79	59,1	18,1	Orchard Ostrava	6,7
2. 4.	18:10	58	22:30	100	25,0	18,1	ZUŠ Klimkovice	9,197
3. 4.	0:05	54	0:45	72	44,6	18,1	ZUŠ Klimkovice	3,995
3. 4.	9:45	41	10:40	71	23,7	18,1	ZUŠ Klimkovice	5,584
3. 4.	11:50	35	15:40	100	47,8	13,9	ZUŠ Klimkovice	15,109
3. 4.	21:20	57	10:40	100	65,2	12,6	ZUŠ Klimkovice	9,652
4. 4.	15:50	34	21:45	100	95,0	12,7	ZUŠ Klimkovice	14,286
4. 4.	23:40	67	13:00	100	33,0	17,5	ZUŠ Klimkovice	7,182
5. 4.	21:50	19	21:55	33	112,9	12,8	Teplárna Vítkovice	3,1
5. 4.	22:20	25	22:42	78	10,8	12,9	Teplárna Vítkovice	11,2
6. 4.	7:58	22	9:58	88	77,6	14,2	ZUŠ Klimkovice	12,835
6. 4.	17:50	46	19:05	88	50,8	13,1	ZUŠ Klimkovice	8,103
6. 4.	23:00	25	12:40	100	69,3	15,9	VŠB-TU Ostrava	16,44